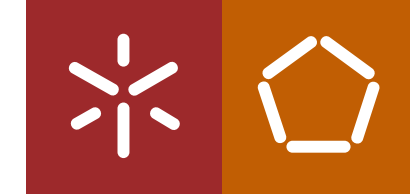


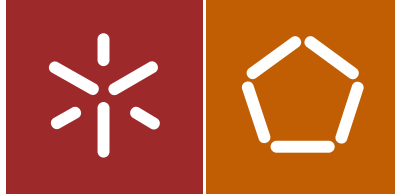


Joana Cristina Silva Moreira

Estudo da durabilidade de varões em
material compósito (BCR) para
reforço e monitorização do betão.

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Joana Cristina Silva Moreira

Estudo da durabilidade de varões em
material compósito (BCR) para
reforço e monitorização do betão.

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Raul Figueiro

Agradecimentos

Terminada esta importante etapa, não poderia deixar de agradecer a algumas pessoas que se demonstraram imprescindíveis para que tudo fosse possível.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a toda a minha família, principalmente aos meus pais, João e Paula, que me mostraram o caminho certo a seguir e fizeram com que tudo fosse possível, e ao João Pedro, meu irmão, por me mostrar o que é trabalhar com esforço e dedicação.

Ao Ricardo, meu namorado, por estar sempre disponível para me ajudar, apoiar e motivar quando preciso e pela paciência que teve comigo mesmo nos dias menos bons.

Ao professor e orientador, Professor Doutor Raul Fangueiro, por todo o apoio e auxílio prestado no decorrer deste projeto.

Às pessoas da equipa do Fibrenamics com quem tive o prazer de interagir, que me ajudaram e sempre se demonstraram disponíveis para auxiliar quando preciso.

Aos meus amigos e colegas de curso, e a todos aqueles que acreditaram em mim.

Resumo

Os varões compósitos entrançados (*Braided Composite Rods*) – BCR – são compostos por materiais compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras em que o núcleo de reforço é revestido por uma camada externa entrançada e integram-se no grupo dos materiais compósitos poliméricos reforçados com fibras, ou materiais FRP (*Fiber Reinforced Polymer*).

Na presente dissertação, pretendeu-se estudar a durabilidade de varões em material compósito (BCR) para perceber se são adequados para aplicação na construção civil.

O estudo da durabilidade elaborado nesta dissertação consistiu, mais especificamente, em quantificar a degradação das propriedades químicas, físicas e mecânicas através da análise de provetes submetidos a vários agentes agressivos.

Consideraram-se alguns agentes agressivos mais comuns em aplicações na Engenharia Civil, meio alcalino, cloretos, radiação UV e humidade.

A análise da degradação das propriedades químicas, físicas e mecânicas foi realizada através de ensaios de tração, FTIR, microscópio digital e variação de massa.

A amostras estudadas variavam na sua constituição as fibras do núcleo e a matriz, sendo esta sempre uma resina epóxida, no entanto, a camada externa entrançada manteve-se sempre a mesma, poliéster.

Os resultados obtidos indicaram que, em geral, a amostra que apresenta melhores resultados, é a constituída por um núcleo de fibras de vidro com fibras de basalto e matriz resina epóxida CR144.

Palavras Chave: BCR (Varões Compósitos Etrançados), Durabilidade, Materiais Compósitos, FRP (Polímeros Reforçados com Fibras)

Abstract

Braided Composite Rods – BCR – are made of composite materials with a polymeric matrix reinforced with fibers, where the reinforcement core is coated with an external braided layer and are included in the group of fibre reinforced polymer materials, also known as FRP materials.

The main goal of the present dissertation was to study the durability of composite rods (BCR) in order to understand if it is suitable for civil construction.

More specifically, this study aims to quantify the chemical, physical and also mechanical degradation, through the analysis of samples which were exposed to several aggressive environments.

Some of the most frequent aggressive environments , for civil engineering applications, were chosen, such as alkali, chlorides, UV radiation and moisture.

The analysiys of the chemical, physical and mechanical degradation was carried out trough tensile tests, FTIR, digital microscope and weight variation.

The core fibers and matrix of the studied samples were variable, however the matrix was always an epoxide resin and the external braided layer was constant, was always polyester.

The results of this study have shown that, in general, the sample with better results, is the one with glass and basalt combined fiber core and epoxide resin CR144 as a matrix.

Key Words: BCR (Braided Composite Rods), Durability, Composite Materials, FRP (Fibre Reinforced Polymer)

Simbologia

BCR- Braided Composite Rods

FRP- Fibre Reinforced Polymer

FTIR- Fourier Transform Infrared Spectroscopy

Ref V- Amostras de referência compostas por núcleo fibra de vidro e matriz resina 1

Ref V'- Amostras de referência compostas por núcleo fibra de vidro e matriz resina 2

Ref VB- Amostras de referência compostas por núcleo fibras de vidro + basalto e matriz resina 1

Ref VB- Amostras de referência compostas por núcleo fibras de vidro + basalto e matriz resina 2

Resina tipo 1- Resina epóxida CR141

Resina tipo 2- Resina epóxida CR144

UV- Radiação ultra-violeta

VA- Amostras compostas por núcleo fibra de vidro e matriz resina 1, expostas a meio alcalino

VA'- Amostras compostas por núcleo fibra de vidro e matriz resina 2, expostas a meio alcalino

VBA- Amostras compostas por núcleo fibra de vidro + basalto e matriz resina 1, expostas a meio alcalino

VBA'- Amostras compostas por núcleo fibra de vidro + basalto e matriz resina 2, expostas a meio alcalino

VC- Amostras compostas por núcleo fibra de vidro e matriz resina 1, expostas a cloretos

VC'- Amostras compostas por núcleo fibra de vidro e matriz resina 2, expostas a cloretos

VBC- Amostras compostas por núcleo fibra de vidro + basalto e matriz resina 1, expostas a cloretos

VBC'- Amostras compostas por núcleo fibra de vidro + basalto e matriz resina 2, expostas a cloretos

VU- Amostras compostas por núcleo fibra de vidro e matriz resina 1, expostas a UV/humidade

VU'- Amostras compostas por núcleo fibra de vidro e matriz resina 2, expostas a UV/humidade

VBU- Amostras compostas por núcleo fibra de vidro + basalto e matriz resina 1, expostas a UV/humidade

VBU'- Amostras compostas por núcleo fibra de vidro + basalto e matriz resina 2, expostas a UV/humidade

Índice

Agradecimentos.....	iii
Resumo	v
Abstract	vii
Simbologia.....	ix
Índice de Figuras	xv
Índice de Tabelas.....	xix
CAPÍTULO 1 – Introdução.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Justificação do trabalho	1
1.3. Objectivos.....	2
1.4. Estrutura da tese	2
CAPÍTULO 2 – Estado da Arte.....	5
2.1. Materiais compósitos poliméricos reforçados com fibras (FRP) – Generalidades	5
2.1.1. Tipos de matrizes poliméricas	5
2.1.2. Tipos de fibras mais utilizadas para reforço	6
2.1.3. Vantagens e desvantagens da utilização destes materiais na construção	8
2.2. FRP's no reforço de estruturas de betão	8
2.2.1. EBR - Externally bonded reinforcement	8

2.2.2. NSM – Near surface mounted	9
2.3. BCR – Varões compósitos entrançados “Braided Composite Rods”	9
2.4. Durabilidade de FRP’s na construção	10
2.4.1. Alcalina.....	10
2.4.2. Cloretos.....	11
2.4.3. Gelo-Degelo	12
2.4.4. UV e Humidade	13
2.4.5. Metodologia Adotada	13
CAPÍTULO 3 – Materiais e Métodos.....	15
3.1. Planeamento Experimental.....	15
3.2. Materiais Constituintes do BCR	16
3.3. Produção das Amostras	18
3.3.1. Processo de Fabrico dos Varões	18
3.3.2. Corte dos Varões	20
3.3.3. Etiquetagem.....	20
3.4. Ensaio de simulação dos diferentes meios	21
3.4.1. Alcalina.....	21
3.4.2. Cloretos.....	22
3.4.3. UV e Humidade	22
3.4.4. Provetes de referência.....	23

3.5. Métodos de Caracterização	23
3.5.1. Variação de Massa.....	23
3.5.2. Análise no Microscópio Digital.....	24
3.5.3. Ensaio de tração	24
3.5.3.1. Desgaste das extremidades para ancoragem.....	24
3.5.3.2. Preparação dos tubos metálicos para ancoragem	25
3.5.3.3. Ancoragem	26
3.5.3.4 Realização do ensaio	26
3.5.4. Ensaio de FTIR	27
CAPÍTULO 4 – Análise de Resultados	29
4.1. Variação de Massa	29
4.2. Microscópio Digital	32
4.3. Ensaio de Tração.....	34
4.4. Ensaio de FTIR.....	44
4.5. Análise Comparativa	50
CAPÍTULO 5 – Conclusão e Trabalhos Futuros.....	53
Referências Bibliográficas	55
Anexos.....	59

Índice de Figuras

Figura 1 Vantagens e desvantagens da utilização de FRP na construção (Fangueiro 2015b)....	8
Figura 2 Tipos de amostras produzidos	15
Figura 3 Fibra de poliéster	17
Figura 4 Fibras de vidro e basalto, esquerda e direita respetivamente	18
Figura 5 Fibras a passar no balseiro com resina	19
Figura 6 Balseiro de resina	19
Figura 7 Bobines de poliéster a envolver as fibras do núcleo	19
Figura 8 Entrançadeira horizontal com bobines de poliéster	19
Figura 9 Estufa	20
Figura 10 Varão a sair pronto da estufa.....	20
Figura 11 Equipamento QUV	23
Figura 12 Varão desgastado	25
Figura 13 Escovagem com acetona	25
Figura 14 Limagem dos tubos	25
Figura 15 Ancoragem dos varões	26
Figura 16 Varão ancorado em ambas as extremidades.....	26
Figura 17 Varões já ancorados	26
Figura 18 Equipamento de ensaio de tração com varão já pronto a ensaiar.....	27
Figura 19 Varão já ensaiado com rotura típica por tração, rotura frágil	27
Figura 20 Prensa	28

Figura 21 Pastilha de KBr	28
Figura 22 Equipamento de leitura de infravermelhos	28
Figura 23 Variação mássica em ambiente alcalino	29
Figura 24 Variação mássica em exposição a cloretos	30
Figura 25 Variação mássica em exposição a UV/Humidade	31
Figura 26 Verificação microscópica de provete de referência	32
Figura 27 Verificação microscópica de provetes (resina 1/ resina 2) expostos 30 dias a meio alcalino	32
Figura 28 Verificação microscópica de provetes (resina 1/resina 2) expostos 30 dias a cloretos	33
Figura 29 Verificação microscópica de provetes (resina 1/resina 2) expostos 60 dias a cloretos	33
Figura 30 Verificação microscópica de provetes (resina 1/resina 2) expostos 90 a cloretos ...	33
Figura 31 Verificação microscópica de provetes (resina 1/resina 2) expostos 30 dias a UV/Humidade.....	34
Figura 32 Curvas Carga x Deslocamento dos provetes constituídos por núcleo fibra de vidro e matriz resina tipo 1	35
Figura 33 Curvas Carga x Deslocamento dos provetes constituídos por núcleo fibra de vidro e matriz resina tipo 2	36
Figura 34 Curvas Carga x Deslocamento dos provetes constituídos por núcleo fibras de vidro+basalto e matriz resina tipo 1	37
Figura 35 Curvas Carga x Deslocamento dos provetes constituídos por núcleo fibras de vidro+basalto e matriz tipo 2	38

Figura 36 Variação da tensão máxima de rotura para as amostras com matriz resina 1 e núcleo fibra de vidro	40
Figura 37 Variação da tensão máxima de rotura para as amostras com matriz resina 2 e núcleo fibra de vidro	41
Figura 38 Variação da tensão máxima de rotura para as amostras com matriz resina 1 e núcleo fibras de vidro+basalto	41
Figura 39 Variação da tensão máxima de rotura para as amostras com matriz resina 2 e núcleo fibras de vidro+basalto	42
Figura 40 Variação do módulo de elasticidade para as amostras com matriz resina 1 e núcleo fibra de vidro	42
Figura 41 Variação do módulo de elasticidade para as amostras com matriz resina 2 e núcleo fibra de vidro	43
Figura 42 Variação do módulo de elasticidade para as amostras com matriz resina 1 e núcleo fibras de vidro+basalto	43
Figura 43 Variação do módulo de elasticidade para as amostras com matriz resina 2 e núcleo fibras de vidro+basalto	44
Figura 44 FTIR- De cima para baixo - Provete exposto a 30 dias em meio alcalino; provete de referência (Resina tipo 1)	45
Figura 45 FTIR- De cima para baixo - Provete exposto a 30 dias em meio alcalino; provete de referência (Resina tipo 2)	46
Figura 46 FTIR- De cima para baixo - Provete exposto 30 dias; provete de referência; provete exposto 60 dias; provete exposto 90 dias (Cloretos - Resina tipo 1).....	46
Figura 47 FTIR- De cima para baixo - Provete exposto 30 dias; provete de referência; provete exposto 60 dias; provete exposto 90 dias (Cloretos - Resina tipo 2).....	47

Figura 48 FTIR- De cima para baixo - Provete exposto 30 dias a UV/Humidade; provete de referência (Resina tipo 1)	48
Figura 49 FTIR- De cima para baixo - Provete exposto 30 dias a UV/Humidade; provete de referência (Resina tipo 2)	49
Figura 50 Ficha técnica da resina 1	59
Figura 51 Ficha técnica da resina 2	60

Índice de Tabelas

Tabela 1 Vantagens e desvantagens das matrizes termoendurecíveis mais utilizadas em FRP's (Fangueiro 2015a)	6
Tabela 2 Vantagens e desvantagens das fibras mais utilizadas para o reforço de FRP's (Fangueiro 2015a)	7
Tabela 3 Tabela resumo das exposições a meio alcalino	11
Tabela 4 Tabela resumo das exposições a cloretos	12
Tabela 5 Tabela resumo das exposições a Gelo-Degelo	12
Tabela 6 Tabela resumo das exposições a UV/Humidade	13
Tabela 7 Metodologia escolhida para as exposições	14
Tabela 8 Metodologia efetivamente adotada para as exposições	14
Tabela 9 Propriedades da fibra de poliéster	17
Tabela 10 Propriedades das fibras utilizadas como núcleo de reforço dos varões.....	18
Tabela 11 Esquema de nomenclatura para as etiquetas.....	21
Tabela 12 Média dos valores de tensão máxima	39
Tabela 13 Média dos valores de módulo de elasticidade	39
Tabela 14 Bandas de ligações mais frequentes nos espectros em estudo.....	44

CAPÍTULO 1 – Introdução

1.1. Enquadramento

A construção civil enfrenta um desafio que é controlar a deterioração das estruturas de betão armado. A corrosão do aço presente no interior do betão é a maior causa deste acontecimento que afeta as propriedades mecânicas e a durabilidade das estruturas.

Diversas técnicas têm sido desenvolvidas no sentido de reduzir a corrosão, tais como, galvanização ou revestimentos com resina epóxida (Gonilho Pereira et al. 2008). Mas porquê reduzi-la se a pudermos evitar?! É assim que surge a ideia de substituir os varões de aço por FRP's (*Fibre Reinforced Polymer*) pelo fato destes não sofrerem corrosão.

Devido à variedade de locais onde a construção civil é implementada, as estruturas podem estar expostas a fatores agressivos tais como, ciclos de gelo-degelo, sais da água do mar, altos níveis de humidade ou radiação ultra-violeta (UV), para além, a própria alcalinidade do betão que não pode ser ignorada (Chen et al. 2007).

Um dos motivos pela qual os FRP's não são mais utilizados na construção civil é o fato de não haver tanta informação, relativa ao comportamento a longo prazo e durabilidade destes materiais, como há para os materiais utilizados na construção tradicional.

Existe a necessidade de haver resultados experimentais que esclareçam a durabilidade destes materiais de forma a determinar o seu real comportamento e avaliar o seu potencial de ser aplicado na realidade (Micelli & Nanni 2004).

1.2. Justificação do trabalho

Do referido anteriormente, resulta a relevância deste trabalho, focando no estudo da durabilidade de varões BCR (*Braided Composite Rods*) que são um FRP que consiste em varões compósitos compostos por um núcleo de reforço, normalmente, constituído por fibras de carbono e/ou vidro, uma camada externa entrançada constituída por uma fibra também, poliéster por exemplo, e a matriz que consiste em um polímero.

Como já referido, existem vários fatores agressivos a que estes varões podem ser expostos no seu ciclo de vida se forem utilizados para armar o betão, por esta razão é extremamente importante proceder ao estudo da durabilidade destes quando expostos a ambiente de simulação controlados, por forma a prever o seu comportamento na vida real.

1.3. Objetivos

Este estudo tem como objetivo a análise técnico-científica do comportamento de varões compósitos quando sujeitos a agentes agressivos a que as estruturas estão expostas no seu ciclo de vida, por forma a perceber qual a verdadeira influência destes nas propriedades e durabilidade do material em estudo, no decorrer do tempo.

Através da realização destes ensaios pretende-se perceber se será viável, ou não, proceder-se à utilização de varões compósitos BCR como substitutos aos tradicionais varões de aço, tendo em conta a sua durabilidade.

1.4. Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em 5 capítulos sucintamente resumidos a seguir:

- **CAPÍTULO 1** - este capítulo inclui a introdução à pesquisa, em que é referenciado a importância deste estudo no contexto atual, os objetivos pretendidos com o presente trabalho e a descrição da estrutura do trabalho.
- **CAPÍTULO 2** - neste capítulo é mencionado sobretudo bibliografia encontrada com a mesma temática, ou seja, FRP's na construção e durabilidade dos FRP's.
- **CAPÍTULO 3** – neste capítulo são descritos os materiais e metodologia aplicados no decorrer do trabalho.
- **CAPÍTULO 4** – neste capítulo são expostos e analisados os resultados obtidos através dos ensaios experimentais.

- CAPÍTULO 5 – por fim, neste capítulo são apresentadas as conclusões tiradas a partir de uma reflexão sobre todo o trabalho efetuado.

CAPÍTULO 2 – Estado da Arte

2.1. Materiais compósitos poliméricos reforçados com fibras (FRP) – Generalidades

Um compósito consiste em um material formado por dois ou mais materiais distintos de forma a se obter propriedades mais interessantes do que as destes individualmente (Pascini 2010).

Os materiais compósitos permitem uma elevada variedade de configurações possíveis através da utilização de diferentes constituintes ou alternando as suas proporções, permitindo configurar as características dos compósitos resultantes em função das necessidades ou exigências da aplicação (Fangueiro 2015a).

Essencialmente um compósito é constituído por uma matriz e um reforço (Pascini 2010). No caso dos FRP's o reforço são as fibras e a matriz é polimérica.

As fibras garantem a necessária resistência e rigidez ao compósito, enquanto a matriz protege as fibras da ação direta de agentes ambientais, assegura uma melhor distribuição das tensões pelo sistema fibroso e evita micro-encurvadura a esforços de compressão (Barros 2007).

2.1.1. Tipos de matrizes poliméricas

As matrizes poliméricas podem ser termoplásticas ou termoendurecíveis, no entanto as primeiras não são muito utilizadas no presente caso de estudo. As segundas, em contrapartida, representam a matriz ideal para a confeção dos FRP's porque proporcionam boa estabilidade térmica, boa resistência química e baixa fluência em relação às primeiras (Juvandes et al. 1996).

As matrizes termoendurecíveis mais utilizadas são poliéster, viniléster e epóxidas, cujas vantagens e desvantagens se apresentam na tabela 1.

Tabela 1 Vantagens e desvantagens das matrizes termoendurecíveis mais utilizadas em FRP's (Fangueiro 2015a)

Matrizes	Vantagens	Desvantagens
Poliéster	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil de utilizar • Resina de baixo custo 	<ul style="list-style-type: none"> • Moderadas propriedades mecânicas • Altas emissões de estireno em moldes abertos • Grande retração na cura
Viniléster	<ul style="list-style-type: none"> • Grande estabilidade química • Resistência aos agentes agressivos • Boas propriedades mecânicas e térmicas (superior ao poliéster) 	<ul style="list-style-type: none"> • Cura demorada para se atingirem boas propriedades mecânicas • Grandes emissões de estireno • Retração devida à secagem • Custo superior ao poliéster
Epóxida	<ul style="list-style-type: none"> • Resinas muito resistentes • Grande período de vida útil • Resiste a temperaturas até aos 220°C • Tem a mais baixa taxa de retração na cura 	<ul style="list-style-type: none"> • Mais cara de que o viniléster • Obriga a mistura precisa

2.1.2. Tipos de fibras mais utilizadas para reforço

As fibras mais utilizadas para reforço de FRP são vidro, carbono, aramida e basalto, cujas vantagens e desvantagens se apresentam na tabela 2.

Tabela 2 Vantagens e desvantagens das fibras mais utilizadas para o reforço de FRP's (Fangueiro 2015a)

Fibra	Vantagens	Desvantagens
Vidro	<ul style="list-style-type: none"> • Grande resistência à temperatura • Compatibilidade com matrizes poliméricas • Transparente • Baixo custo 	<ul style="list-style-type: none"> • Suscetível ao dano superficial • Baixo módulo de elasticidade
Carbono	<ul style="list-style-type: none"> • Grande resistência e rigidez à tração, compressão e fadiga • Resistente às altas temperaturas • Boa estabilidade dimensional 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensível ao choque e abrasão • Corrosão do tipo galvânico • São atacadas pelo oxigénio a temperaturas elevadas • Têm alto custo
Aramida	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa densidade • Resistência específica muito elevada • Resistente ao choque, vibrações e desgaste • Bom comportamento ao fogo • Boa resistência química 	<ul style="list-style-type: none"> • Fraco comportamento à compressão • Aderência medíocre à maioria das matrizes poliméricas • Absorção de humidade • Sensibilidade aos UV • Fraca resistência química a ácidos fortes concentrados
Basalto	<ul style="list-style-type: none"> • Resistência (3000MPa) e rigidez (90 GPa) à tração superior à fibra de vidro • Preço semelhante à fibra de vidro • Resistência aos agentes atmosféricos, meios ácidos e alcalinos • Muito resistente ao fogo 	<ul style="list-style-type: none"> • Controlo de qualidade ainda pouco desenvolvido • Ainda não existem muitos estudos sobre esta fibra

2.1.3. Vantagens e desvantagens da utilização destes materiais na construção

As principais vantagens e desvantagens da utilização de FRP's na construção civil encontram-se resumidas na figura 1.

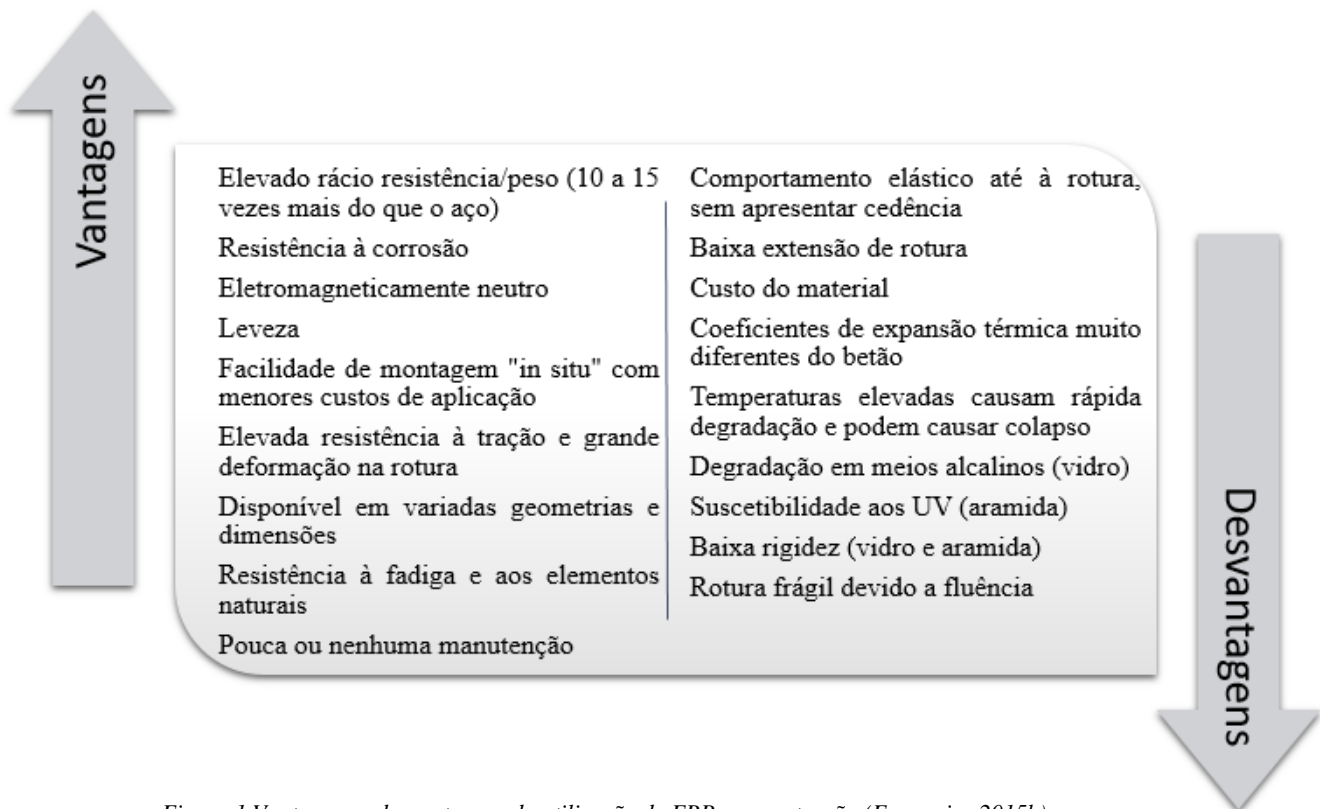


Figura 1 Vantagens e desvantagens da utilização de FRP na construção (Fangueiro 2015b)

2.2. FRP's no reforço de estruturas de betão

As principais técnicas utilizadas para o reforço com FRP são EBR- *Externally bonded reinforcement* e NSM- *Near surface mounted*.

2.2.1. EBR - *Externally bonded reinforcement*

Esta técnica consiste na colagem de mantas e laminados FRP à superfície exterior da peça a reforçar (Barros 2007).

As etapas de aplicação são as seguintes (Fangueiro 2015b):

1. Inspeção e eventual reparação do suporte:
 - Verificação do estado de deterioração;

- Verificação do nível de corrosão das armaduras;
 - Verificação da fendilhação.
2. Preparação da superfície de suporte:
 - Tratamento mecânico para otimização da rugosidade;
 - Controlo da humidade superficial;
 - Avaliação da necessidade de aplicar primário.
 3. Colagem do sistema:
 - Aplicação do sistema de cura in-situ
 4. Avaliação da aderência (ensaios pull-off).

2.2.2. NSM – *Near surface mounted*

Esta técnica consiste na introdução de FRP's (varões de fibras de vidro ou carbono) em ranhuras pré-executadas nos elementos a reforçar. Esta técnica, em alguns casos, apresenta vantagens substanciais comparativamente com a técnica apresentada anteriormente - EBR (Sena-Cruz 2008).

As etapas de aplicação são as seguintes (Fangueiro 2015b):

1. Abertura de rasgos;
2. Injeção de adesivo ao longo do rasgo;
3. Introdução do FRP;
4. Aplicação de acabamento.

2.3. BCR – Varões compósitos entrançados “*Braided Composite Rods*”

Tipicamente, os varões compósitos reforçados com fibras são produzidos por pultrusão, no entanto os varões compósitos também podem ser produzidos através da técnica de entrançamento.

O entrançamento consiste em uma técnica de baixo custo com características mecânicas vantajosas face às soluções existentes (Fangueiro 2015a) e (Pereira et al. 2005).

Tendo em conta que os BCR são FRP's, estes possuem uma matriz polimérica e um reforço composto por fibras, no entanto este ultimo é constituído por uma camada de entrançamento, que garante a adesão dos varões ao betão, como reforço a um núcleo constituído por fibras tais como as referidas anteriormente, vidro, carbono, aramida e basalto.

2.4. Durabilidade de FRP's na construção

Os ensaios comumente realizados para o estudo da durabilidade dos FRP's, aqueles em que a maior parte das fontes convergem, consistem em exposição destes a agentes agressivos que simulam os ambientes de exposição a que podem estar expostos na sua vida útil em obra, e posteriormente ensaios de tração para avaliar os efeitos de tal exposição nas propriedades mecânicas do material.

Os agentes agressivos a que normalmente é feita a exposição são humidade, UV, gelo-degelo, cloretos e solução alcalina.

2.4.1. Alcalina

A exposição à solução alcalina consiste, basicamente na preparação de uma solução de pH elevado (≈ 13), que simula a alcalinidade do betão. Dependendo de fonte para fonte a solução e os tempos de exposição a esta variam de acordo com cada qual, como se pode observar na tabela 3.

Tabela 3 Tabela resumo das exposições a meio alcalino

Fonte	Solução	Temperatura	Tempo
(Chen et al. 2007)	pH 13,6 → 2,4g/L NaOH + 2g/L Ca(OH) ₂ + 19,6g/L KOH	20°C	120 dias
	pH 12,7 → 0,6g/L NaOH + 0,037g/L Ca(OH) ₂ + 1,4g/L KOH	40°C, 60°C	70 dias
(Cromwell et al. 2011)	pH 9,5 → solução saturada de CaCO ₃	22°C	1000, 3000 e 10000 horas (≈ 42, 125 e 417 dias)
(Fergani et al. 2015)	pH 12,7 → 0,9g/L NaOH + 118,5g/L Ca(OH) ₂ + 4,2g/L KOH	20°C, 40°C, 60°C	42 dias
(Kim et al. 2008)	pH 13 → 1% NaOH + 0,16% Ca(OH) ₂ + 1,4% KOH	25°C, 40°C, 80°C	30, 60 e 75 dias
(Micelli & Nanni 2004)	pH 13 → 1% NaOH + 0,16% Ca(OH) ₂ + 1,4% KOH	60°C	21 e 42 dias
(Quagliarini et al. 2016)	pH 13 → 1% NaOH + 0,16% Ca(OH) ₂ + 1,4% KOH	60°C	21 dias

2.4.2. Cloretos

Semelhante à exposição alcalina, aqui também é preparada uma solução, neste caso uma solução rica em sais que simula a água do mar. Mais uma vez, a solução e os tempos de exposição variam dependendo da fonte, como mostra a tabela 4.

Tabela 4 Tabela resumo das exposições a cloretos

Fonte	Solução	Temperatura	Tempo
(Chen et al. 2007)	30g/L NaCl + 5g/L Na ₂ SO ₄	20°C 40°C, 60°C	120 dias 70 dias
(Cromwell et al. 2011)	24,5g/L NaCl + 4,1g/L Na ₂ SO ₄ (anidro) + 20ml/L solução 1 + 10ml/L solução 2 (norma ASTM D1141)	22°C	1000, 3000 e 10000 horas (≈ 42, 125 e 417 dias)
(Kim et al. 2008)	3% NaCl	25°C, 40°C, 80°C	30, 60, 90 e 132 dias
(Quagliarini et al. 2016)	3% NaCl	60°C	21 dias

2.4.3. Gelo-Degelo

A exposição a gelo-degelo consiste na exposição a ciclos de subida e descida de temperatura até negativos, ciclos estes que variam de fonte para fonte, como se apresenta na tabela 5.

Tabela 5 Tabela resumo das exposições a Gelo-Degelo

Fonte	Solução	Descrição	Ciclos
(Chen et al. 2007)	Água da torneira	30min saturação a 20°C→90min descer para -20°C→30min saturação a - 20°C →90min subir para -20°C	300 e 600
	pH 13 → 71,66g/L NaCl + 5,6g/L KOH		
(Cromwell et al. 2011)		70min a -18°C (30%HR)→20min subir para 4.5°C (90%HR)→70min a 4.5°C (50%HR+UV)→80min descer para-18°C (40%HR)	360
(Kim et al. 2008)	pH 13 → 1% NaOH + 0,16% Ca(OH) ₂ + 1,4% KOH	Temperatura varia entre -25°C e 30°C – Um ciclo por dia	100
(Micelli & Nanni 2004)		Temperatura varia entre 4°C e -18°C	200

2.4.4. UV e Humidade

Há estudos que apenas expõem os FRP's a água simulando só a humidade, enquanto outros alternam ciclos de humidade com UV. A tabela 6 mostra como as exposições variam dependendo da fonte.

Tabela 6 Tabela resumo das exposições a UV/Humidade

Fonte	Solução	Descrição	Ciclos/Tempo
(Chen et al. 2007)	Água da torneira	20°C 40°C, 60°C	120 dias 70 dias
(Cromwell et al. 2011)		2h UV a 63°C→2h 100% humidade a 22°C	1000 ciclos
(Micelli & Nanni 2004)		Ciclos com HR entre 60% e 100% para 16°C, 27°C e 38°C – Sempre com exposição a UV	480 ciclos

2.4.5. Metodologia Adotada

Como já referido, não há consenso na metodologia de ensaio adotada pelas diversas fontes. Assim sendo, na tabela 7, encontra-se indicada a metodologia escolhida neste caso de forma a tentar seguir pelas normas existentes.

Tabela 7 Metodologia escolhida para as exposições

Meio	Solução	Descrição	Tempo/Ciclos	Norma
Alcalino	0,9g/L NaOH + 118,5g/L Ca(OH) ₂ + 4,2g/L KOH	60 ± 3°C – pH entre 12,6 e 13	30, 60 e 90 dias	ASTM D7705
Cloretos	24,5g/L NaCl + 4,1g/L Na ₂ SO ₄ (anidro) + 20ml/L solução 1 + 10ml/L solução 2		30, 60 e 90 dias	ASTM D1141
Gelo-Degelo	Imersão prévia em água durante 30 dias a temperatura ambiente	3h a -20 ± 2°C → 3h imersão em água destilada a temperatura ambiente	100 ciclos (25 dias)	ASTM D7792
UV/humidade		8h UV a 60°C → 4h condensação a 50°C	30, 60 e 90 dias	ASTM G 151 e 154

No entanto, devido à falta de reagentes, indisponibilidade de equipamentos, etc., a metodologia que pôde ser efetivamente adotada, mantendo-se as soluções e ciclos anteriormente descritos, foi a que se encontra descrita na tabela 8.

Tabela 8 Metodologia efetivamente adotada para as exposições

Meio	Tempo
Alcalino	30 dias
Cloretos	30, 60 e 90 dias
UV/humidade	30 dias

CAPÍTULO 3 – Materiais e Métodos

Para a realização deste estudo foram produzidas quatro amostras de varões de BCR, de modo a analisar e compreender a influência de diferentes composições do núcleo e da matriz na durabilidade destes. Desta forma, foram utilizados dois tipos de resina epóxida na matriz (fichas técnicas em anexo) e dois tipos de fibras: vidro e basalto, no núcleo dos provetes.

Na camada externa, foram utilizadas fibras de poliéster. Na figura que se segue (figura 2) é resumido os tipos de amostras que foram produzidos.



Figura 2 Tipos de amostras produzidos

Para proceder à caracterização das diferentes amostras, após estas serem expostas a ambientes agressivos, foi realizada a análise dos provetes no microscópio digital e variação mássica, e foram realizados ensaios de tração e FTIR, de modo a perceber o nível de degradação que estas sofreram.

3.1. Planeamento Experimental

A realização deste trabalho começou com a fabricação de 5 provetes de cada amostra para cada ciclo, ciclos já contabilizados e descritos em 2.4.5, o que contabiliza um total de 100 provetes. Após a produção os provetes foram cortados à medida desejada e pesados de forma a ser

possível, posteriormente, se proceder a verificação da variação de massas, processo descrito mais à frente em 3.5.1.

De seguida os provetes foram encaminhados para os ensaios de durabilidade e permaneceram até ao fim do respetivo ciclo. Quando retirados de um ciclo de exposição, os provetes foram encaminhados para a estufa e pesados novamente, como descrito mais à frente em 3.5.1, e testados mecânica, física e quimicamente.

Para além dos já referidos, foram também produzidos 32 provetes de referência (2 provetes por cada amostra para cada ciclo), provetes estes que não foram expostos a qualquer tipo de agente agressivo.

3.2. Materiais Constituintes do BCR

Como já referido anteriormente, para este estudo foram produzidas quatro amostras com a variação das fibras do núcleo e das resinas escolhidas para a matriz dos varões de maneira a ser possível comparar as diferentes composições. Optou-se, desta forma, por duas resinas epoxídicas termoendurecíveis da mesma marca, Biresin®, mas com especificações diferentes apresentadas em anexo nas respetivas fichas técnicas, e dois tipos de fibras para o núcleo dos provetes: vidro e basalto. De maneira a facilitar a interpretação, daqui para a frente a resina Biresin® CR141 será referida como resina tipo 1 e a resina Biresin® CR144 como resina tipo 2.

Na tabela 9 é possível observar as propriedades da fibra de poliéster aplicada como camada externa entrançada.

Na figura 3 é possível observar as fibras de poliéster utilizadas.

Tabela 9 Propriedades da fibra de poliéster

Propriedade	Valor
Nº de filamentos	192
Massa Linear Total – Tex (g/Km)	1100
Massa Volúmica (g/cm ³)	1,38



Figura 3 Fibra de poliéster

Para o núcleo de reforço foram utilizadas fibras de vidro e de basalto, que se podem ver na figura 4, nas seguintes proporções: 100% fibra de vidro e 75% fibra de vidro com 25% fibra de basalto, cujas características se apresentam na tabela 10.

Tabela 10 Propriedades das fibras utilizadas como núcleo de reforço dos varões

Amostra	Diâmetro (mm)	Massa Linear Total – Tex (g/Km)	Massa Volúmica (g/cm ³)
100% Fibra de Vidro	4	2 fios 9600 + 1 fio 4800	2,56
75% Fibra de Vidro + 25% Fibra de Basalto	5	2 fios 9600 + 1 fio 4800	2,56
		2 fios 4800	2,7



Figura 4 Fibras de vidro e basalto, esquerda e direita respetivamente

3.3. Produção das Amostras

De seguida apresentam-se os passos efetuados no processo de produção das amostras.

3.3.1. Processo de Fabrico dos Varões

O fabrico dos vários BCR foi feito em uma entrançadeira horizontal da marca *TrenzExport*, modelo 40/100. No processo de fabrico é necessário ter em atenção algumas etapas:

- O processo inicia-se com a imersão das fibras em resina, é necessário assegurar que existe sempre resina suficiente a envolver as fibras visto que, a resina é matriz do compósito que vai garantir a rigidez deste;

- O processo segue com a fase de entrançado, parte em que a fibra, já embebida em resina, é envolvida com poliéster entrançado à sua volta;
- A seguir ao entrançamento, segue-se a fase da cura da resina, fase esta em que o varão atravessa uma estufa a 180°C que endurece a resina;
- Por último, o varão sai pronto a ser cortado.

As figuras 5 a 10 ilustram as etapas de fabrico descritas.



Figura 5 Fibras a passar no balseiro com resina



Figura 6 Balseiro de resina



Figura 7 Bobines de poliéster a envolver as fibras do núcleo



Figura 8 Etrançadeira horizontal com bobines de poliéster



Figura 9 Estufa



Figura 10 Varão a sair pronto da estufa

3.3.2. Corte dos Varões

Posteriormente a serem fabricados, como descrito anteriormente, os varões são cortados, porém são cortados de maneira pouco rigorosa e em peças muito longas. De forma a obter-se os varões individuais com a medida indicada para o ensaio de tração, 75cm, os varões são cortados à medida em uma serra linear.

3.3.3. Etiquetagem

Devido ao elevado número de provetes envolvidos no estudo, torna-se necessário recorrer a um processo de etiquetagem individual dos varões com um código que permita identificar os mesmos e que permita uma melhor gestão dos resultados obtidos. Em cada provete deverá estar fixada uma etiqueta que contenha as seguintes informações: tipo dos materiais utilizados na amostra, meio ao qual o provete será submetido e o tempo de ciclo a que estará exposto ao meio, além de um número de identificação que permita distinguir o provete dentre os vários de cada amostra, visto que haverá 5 provetes de cada. Assim sendo, serão utilizadas nomenclaturas, da forma que se segue: amostras submetidas a exposição de cloretos → C, amostras submetidas a exposição de meio alcalino → A, amostras expostas a radiação UV e humidade → U. Por exemplo, o provete constituído por núcleo de fibra de vidro e epóxida tipo 1, exposto a solução alcalina durante 1 ciclo (30 dias), terá uma etiqueta com a nomenclatura VA1, como existem 5 varões para este exemplo serão etiquetados, 1VA1, 2VA1 ... e assim sucessivamente. Já o provete constituído por núcleo de fibra de basalto com fibra de vidro e epóxida tipo 2, exposto a cloretos durante 2 ciclos (60 dias), terá uma etiqueta com a

nomenclatura B'C2, em que a pelica (') indica o fato de ser epóxida tipo 2, e como se repete o mesmo do exemplo anterior, em que existem 5 provetes, então procede-se da mesma maneira.

A tabela 11 apresenta de forma simplificada a nomenclatura utilizada.

Tabela 11 Esquema de nomenclatura para as etiquetas

Amostra/Meio	Alcalino	Cloretos	UV/Humidade
Fibra de Vidro + Resina 1	VA1	VC1, VC2, VC3	VU1
Fibra de Vidro + Resina 2	V'A1	V'C1, V'C2, V'C3	V'U1
Fibras de Vidro e Basalto + Resina 1	BA1	BC1, BC2, BC3	BU1
Fibras de Vidro e Basalto + Resina 2	B'A1	B'C1, B'C2, B'C3	B'U1

3.4. Ensaios de simulação dos diferentes meios

Para cada ciclo sujeito a um dos meios existem 5 provetes de cada amostra, desta forma, para cada ciclo existem 20 provetes (5 x 4 amostras).

De seguida é descrito o processo realizado para a simulação de cada meio.

3.4.1. Alcalina

Como já foi referido anteriormente, a solução adotada foi a seguinte:



Inicialmente a intenção era fazerem-se 3 ciclos neste meio, 30 , 60 e 90 dias , no entanto, como já foi referido no capítulo anterior, apenas foi possível realizar o primeiro. Para o efeito foram preparados 7 litros de solução onde foram imersos os provetes deste ensaio e mantidos em um recipiente no interior de uma estufa de forma a garantir uma temperatura de $60\pm 1^{\circ}\text{C}$, tal como indica a norma.

3.4.2. Cloretos

Como referido anteriormente a solução adotada foi a seguinte:

24,5g/L NaCl + 4,1g/L Na₂SO₄ (anidro) + 20ml/L solução 1 + 10ml/L solução 2

em que:

Solução 1: 555,6g/L MgCl₂.6H₂O + 57,9g/L CaCl₂ (anidro) + 2,1g/L SrCl₂.6H₂O

Solução 2: 69,5g/L KCl + 20,1g/L NaHCO₃ + 10g/L KBr + 2,7g/L H₃BO₃ + 0,3g/L NaF

Foram preparados 20 litros de solução e depositados em um recipiente onde foram imersos os provetes.

3.4.3. UV e Humidade

Este ensaio foi realizado através da alocação dos provetes na máquina *QUV Accelerated Weathering Tester – Model QUV/spray* (figura 11), esta foi programada para automaticamente realizar os ciclos escolhidos (8h de UV e 4h de Condensação) sendo apenas necessário esta ser abastecida de água destilada para a parte do ciclo da condensação.

Este equipamento limita a exposição dos varões a apenas 9,5cm, não sendo, portanto, o restante comprimento exposto aos ciclos. Por este motivo não foi possível proceder a ensaios de tração para estes provetes, visto que teria de se ensaiar apenas esses 9,5cm, o que não foi possível.

Como já discutido anteriormente, não foi possível realizar os três ciclos de ensaio, mas sim apenas o primeiro.



Figura 11 Equipamento QUV

3.4.4. Provetes de referência

Para além dos provetes que foram expostos aos ambientes anteriormente descritos, existem também os provetes de referência, provetes estes que não foram expostos a qualquer tipo de meio. Estes provetes são utilizados como base de comparação com os que foram expostos a agentes agressivos.

Para cada amostra existem 8 provetes de referência, o que perfaz 32 no total.

3.5. Métodos de Caracterização

3.5.1. Variação de Massa

Esta medição é efetuada de forma a perceber se o material em estudo sofreu perda ou ganho de massa causada pelas exposições aos meios agressivos. Para se proceder à averiguação da diferença de massas inicial e final efetuou-se uma pesagem inicial antes dos provetes serem sujeitos a qualquer meio de exposição e, posteriormente, repetiu-se a pesagem quando estes terminaram o seu tempo de exposição, após estes serem sujeitos a uma passagem pela estufa durante 48 horas a 80°C de forma a garantir que retiramos a massa seca do provete.

3.5.2. Análise no Microscópio Digital

Para esta análise foi utilizado um microscópio digital com capacidade de ampliação de até 500 vezes. A importância desta análise consiste na observação da camada externa e matriz a nível microscópico por forma a perceber defeitos ou falhas que possam justificar resultados menos favoráveis.

Esta análise foi efetuada no final de cada período de exposição e nos provetes de referência, visto que estes são a base de comparação já que não sofreram qualquer tipo de exposição.

3.5.3. Ensaio de tração

Para a realização dos ensaios de tração é necessário efetuarem-se ancoragens nas extremidades dos varões de maneira ao equipamento poder agarrar os provetes para poder tracioná-los. De seguida apresentam-se as etapas de preparação do ensaio.

3.5.3.1. Desgaste das extremidades para ancoragem

Para se estudar o comportamento apenas das fibras do núcleo, de forma a perceber até que ponto a camada externa e matriz protegeram o núcleo dos agentes agressivos, é necessário efetuar-se o desgaste destas de maneira a que a tração seja feita nas fibras do núcleo. Para além das extremidades, também se efetuam dois pequenos desgastes espaçados 5cm um do outro onde é posicionado o extensómetro que mede a extensão das fibras do núcleo.

Este desgaste não foi efetuado da melhor forma, visto que foi realizado com uma rebarbadora, sendo este um método um pouco brusco tendo em conta a sensibilidade do material. Na figura 12 é possível observar um varão já desgastado.



Figura 12 Varão desgastado

3.5.3.2. Preparação dos tubos metálicos para ancoragem

Os tubos utilizados para a ancoragem dos provetes consistem em tubos metálicos com 10mm de diâmetro, estes têm de ser preparados para tal, esta preparação realiza-se em duas etapas:

- **Escovagem em acetona (figura 13):** nesta etapa os tubos são escovados no seu interior com acetona de forma a limpar as impurezas que possam conter e possam interferir com a boa aderência das ancoragens.
- **Limagem dos tubos (figura 14):** esta segunda etapa consiste em lixar o interior dos tubos de forma a garantir uma certa rugosidade para uma melhor aderência da ancoragem. Para melhores resultados os tubos deveriam ser roscados no interior.



Figura 13 Escovagem com acetona



Figura 14 Limagem dos tubos

3.5.3.3. Ancoragem

O processo de ancoragem consiste em fixar, com o auxílio da resina SikaDur 32-EF, as extremidades dos varões, já desgastadas, no interior dos tubos já preparados para a ancoragem. Estas ancoragens têm um comprimento de 25 cm em cada extremidade. Para tentar centrar os varões no centro das ancoragens, de forma a evitar tensões de corte, foram utilizados elásticos.

As figuras 15 a 17 ilustram as etapas do processo de ancoragem.



Figura 15 Ancoragem dos varões

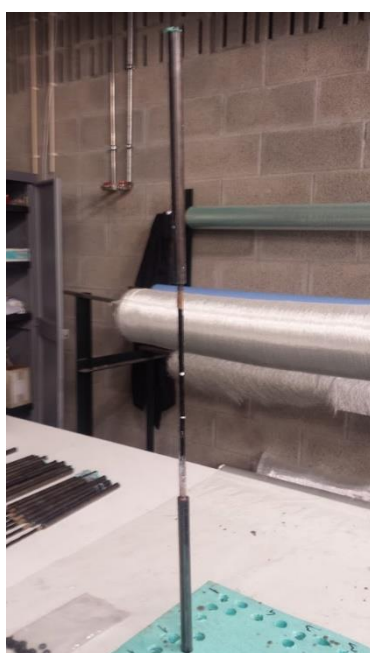


Figura 16 Varão ancorado em ambas as extremidades



Figura 17 Varões já ancorados

3.5.3.4 Realização do ensaio

Os ensaios de tração foram efetuados com base na norma ASTM D 3916-02, com recurso a uma máquina universal de tração uniaxial *LLOYD LR50K Plus* com uma célula de carga com capacidade máxima de 50 kN e com auxílio de um extensómetro *Epsilon* (figura 18). A velocidade aplicada foi de 2mm/min. Neste ensaio os varões são fixos, através das ancoragens efetuadas, para serem sujeitos a tração até à rotura, sendo medida a carga aplicada, a extensão das fibras do núcleo e o tempo de ensaio, de maneira a determinar-se a resistência à tração, o módulo de elasticidade e a extensão de rotura do varão ensaiado. Na figura 19 é possível observar um varão já ensaiado.



Figura 18 Equipamento de ensaio de tração com varão já pronto a ensaiar



Figura 19 Varão já ensaiado com rotura típica por tração, rotura frágil

3.5.4. Ensaio de FTIR

Para a realização do ensaio de FTIR é raspada uma pequena quantidade da camada externa e matriz do varão para se poder analisar se este sofreu degradação ou não. Essa amostra raspada consiste em pó que é junto a KBr (Brometo de Potássio), os dois são bem misturados e de seguida compactados, durante 10min, numa prensa com 10tons (figura 20). Através deste processo forma-se uma pastilha transparente (figura 21) que é o que vai ser analisado no FTIR.



Figura 20 Prensa



Figura 21 Pastilha de KBr

A pastilha é analisada através do equipamento *Avatar 360 Thermo Nicolet* (figura 22), este equipamento fornece o espectro de infravermelho da amostra. Para obter esse espectro o equipamento faz passar pela amostra um feixe de luz infravermelha e mede a quantidade de energia absorvida por esta a cada comprimento de onda. Desta forma, obtêm-se o espectro de transmissão ou de absorção que mostra os comprimentos de onda a que a amostra absorve radiação e desta forma é possível analisar as ligações químicas presentes (Paiva 2006).



Figura 22 Equipamento de leitura de infravermelhos

CAPÍTULO 4 – Análise de Resultados

Neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos através dos diferentes métodos de caracterização já referidos e efetua-se uma análise comparativa destes. Esta análise foca entender qual a amostra mais adequada para aplicação na construção, qual a que apresenta, maioritariamente, melhor comportamento quando sujeita aos mesmos agentes agressivos que as construções na sua vida útil.

4.1. Variação de Massa

De seguida as figuras 23 a 25 apresentam, com recurso a gráficos, uma análise das perdas de massa, que ocorreram para cada amostra nos diferentes ciclos de exposição.

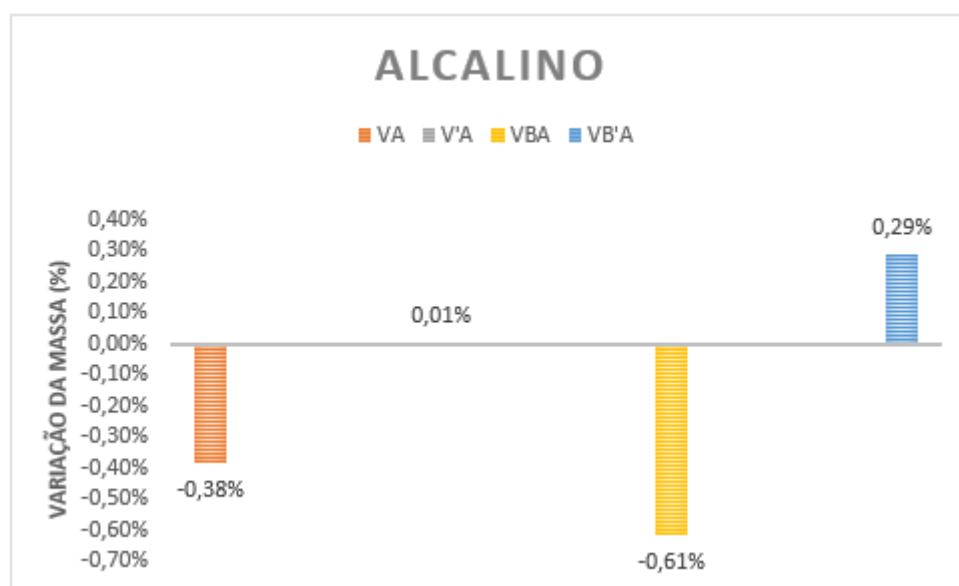


Figura 23 Variação mássica em ambiente alcalino

Para a exposição alcalina, considerou-se que a variação mássica é nula para a amostra V'A, desta forma, é possível verificar que houve perda de massa nas amostras com a resina do tipo 1 (VA e VBA) e ganho na amostra com resina do tipo 2 V'BA, sendo que as perdas, em comparação com os ganhos, foram significativamente superiores, como se pode observar na figura 23.

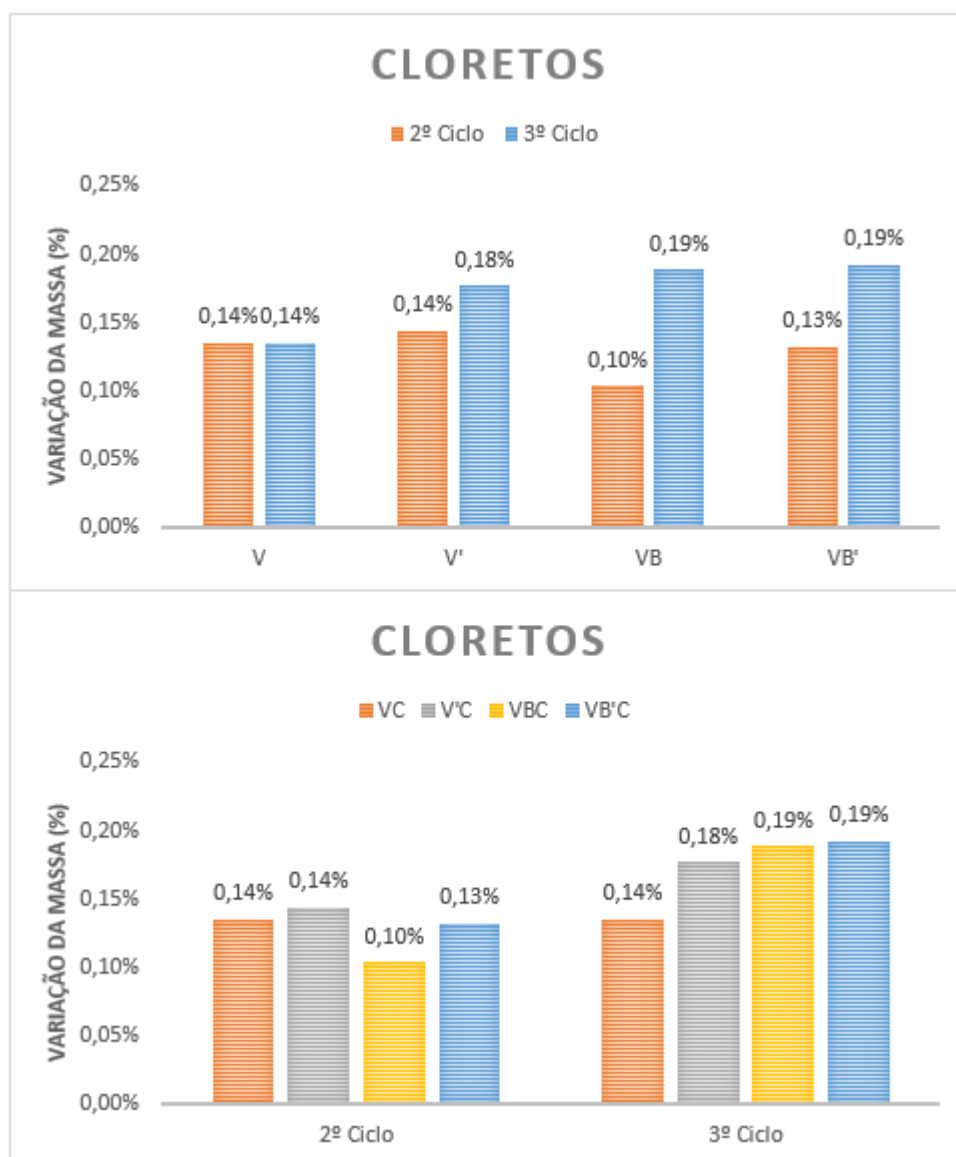


Figura 24 Variação mássica em exposição a cloretos

No caso dos cloretos, como já referido houveram três ciclos de exposição, no entanto a variação mássica no 1º ciclo foi ínfima podendo se considerar nula. Neste caso apresentam-se dois tipos de gráfico para facilitar a análise (figura 24). O primeiro gráfico apresenta, para cada ciclo, a variação mássica de cada amostra em comparação umas com as outras, enquanto que o segundo compara diretamente a evolução da variação mássica de cada amostra entre si, por ciclo.

Para este caso é possível verificar que todas as amostras tiveram ganhos nos 2º e 3º ciclos, ganhos estes progressivos, sendo que em média as amostras que demonstraram maiores ganhos foram as constituídas por matriz resina tipo 2, V' e VB'.

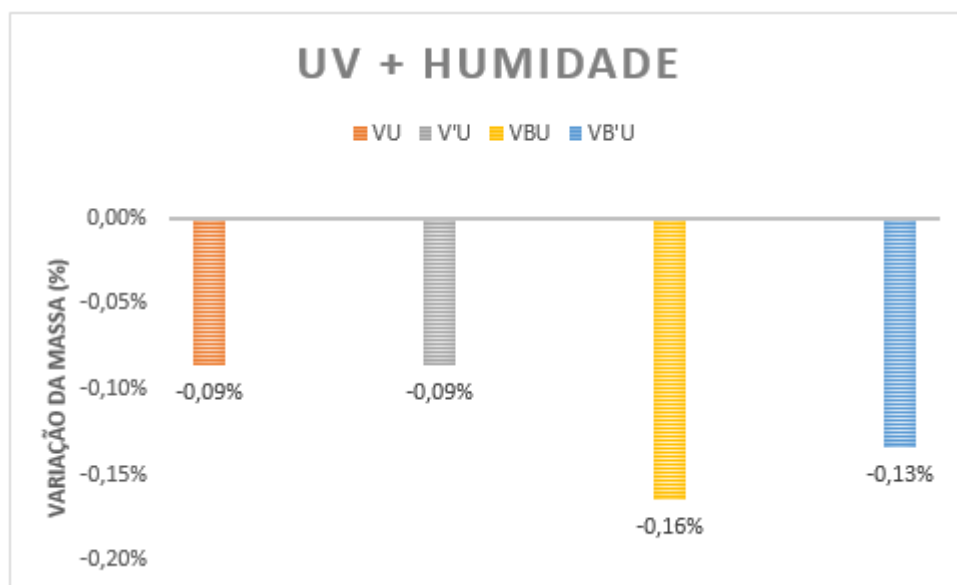


Figura 25 Variação mássica em exposição a UV/Humidade

No caso das amostras expostas a radiação UV alternada com condensação, através da análise da figura 25, é possível verificar que todas sofreram redução mássica, sendo esta mais significativa nas amostras com fibra de vidro e basalto no seu núcleo, e/ou nas com resina do tipo 1, se compararmos os núcleos iguais entre si.

Comparando de forma geral, é evidente que as amostras sujeitas a alcalinidade foram as que sofreram maior propensão a perda mássica, mesmo com apenas um ciclo de exposição, chegando a 0,6%, que embora seja um valor bastante reduzido é elevado em comparação com os restantes casos. Nas restantes situações as perdas foram quase insignificantes, visto que não houve perda mássica para os cloretos e que arredondando, as perdas mássicas estão na casa 0,1% para os UV/humidade.

Em geral, as reduções foram mais elevadas nas amostras com resina do tipo 1.

4.2. Microscópio Digital

Através da análise das imagens que se seguem é possível verificar a degradação a olho nú dos varões.

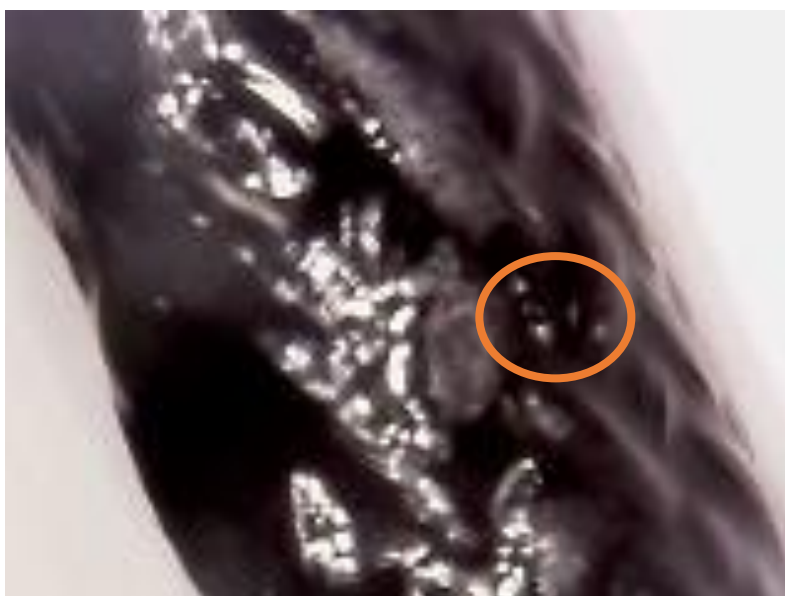


Figura 26 Verificação microscópica de provete de referência

Na figura 26 é possível perceber que os varões, mesmo antes de qualquer tipo de exposição, não possuem uma cobertura completamente homogênea, havendo anomalias tais como pequenas bolhas visíveis na resina, como indicado na imagem, ou o fato de partes da camada externa estarem envoltas em mais resina de que outras.

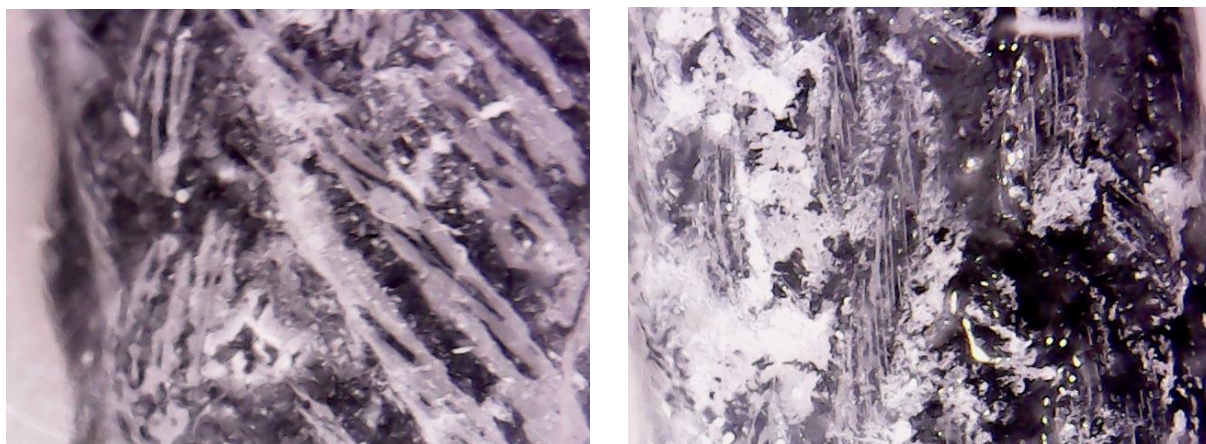


Figura 27 Verificação microscópica de provetes (resina 1/ resina 2) expostos 30 dias a meio alcalino

No caso dos provetes sujeitos a ambiente alcalino é possível observar, na figura 27, que, apesar de terem sido sujeitos a apenas 30 dias, os efeitos da degradação a olho nú já são bastante notáveis e semelhantes para ambas as resinas usadas como matriz.

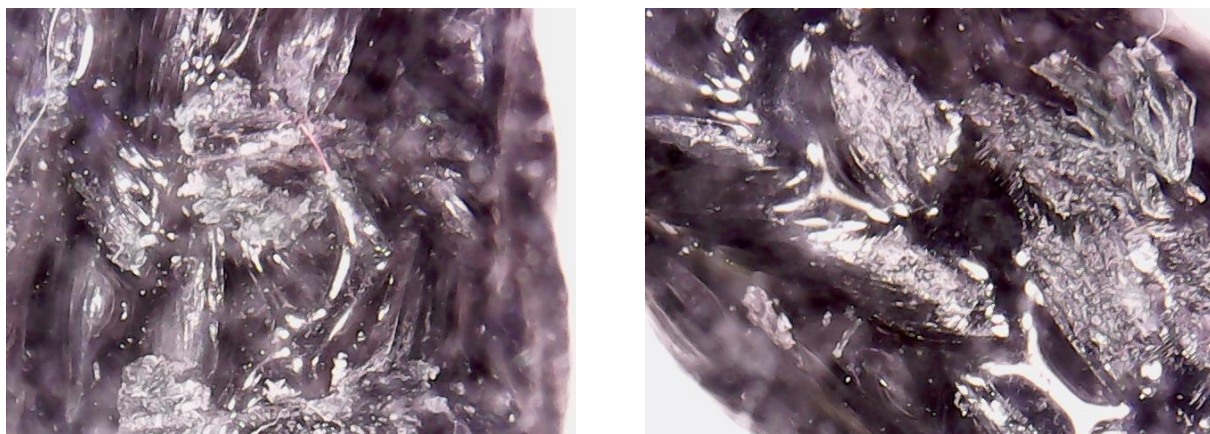


Figura 28 Verificação microscópica de provetes (resina 1/resina 2) expostos 30 dias a cloretos

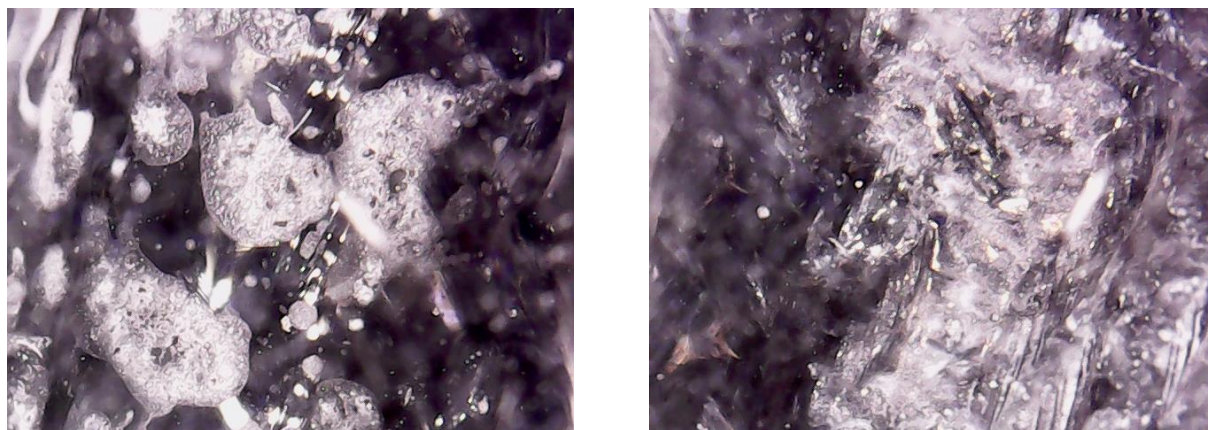


Figura 29 Verificação microscópica de provetes (resina 1/resina 2) expostos 60 dias a cloretos

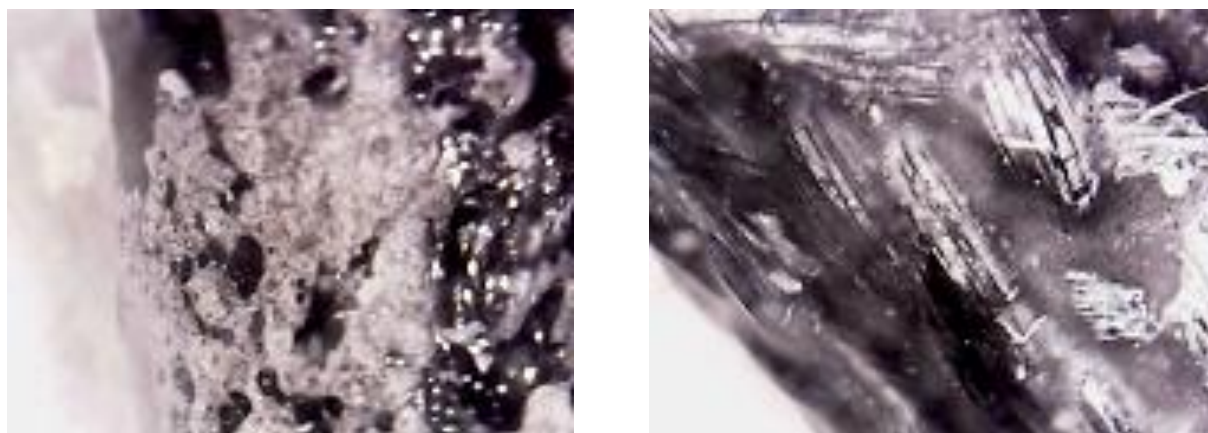


Figura 30 Verificação microscópica de provetes (resina 1/resina 2) expostos 90 a cloretos

No que diz respeito à exposição aos cloretos, através da análise das figuras 28 a 30, é possível verificar que os varões compostos por resina do tipo 2 aparentam possuir uma degradação mais profunda na matriz ao contrario da resina tipo 1 que parece mais superficial.

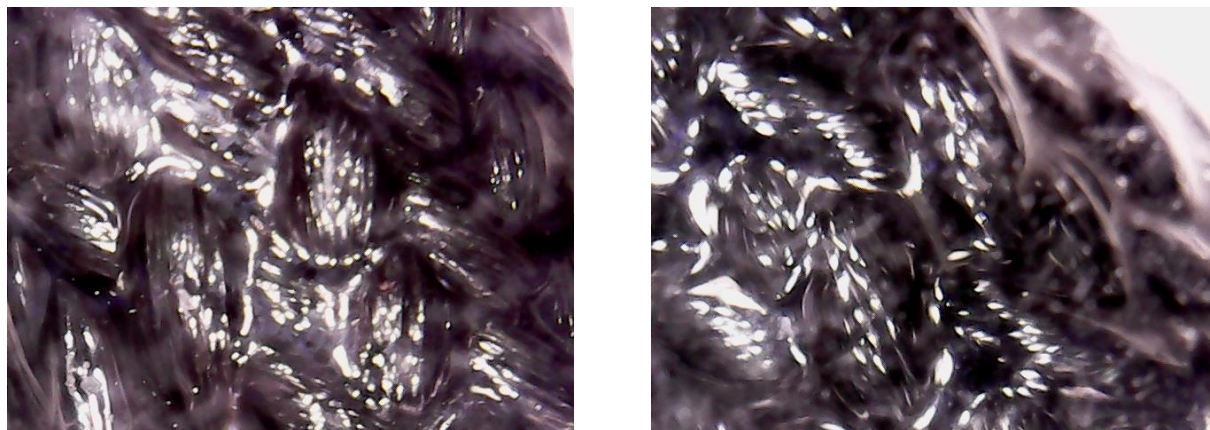


Figura 31 Verificação microscópica de provetes (resina 1/resina 2) expostos 30 dias a UV/Humidade

Os varões expostos a UV/humidade, representados na figura 31, como foram expostos a apenas 30 dias, não é possível, neste tipo de análise, verificar degradação, comparativamente com as referências.

4.3. Ensaios de Tração

No decorrer dos ensaios de tração foi possível observar que o modo de rotura mantém-se, independentemente do tipo de exposição e/ou duração da exposição, rotura frágil. De seguida expõe-se a média dos valores obtidos para as propriedades mecânicas, propriedades estas calculadas de acordo com a norma ACI 440.3R-04, para além das curvas com os deslocamentos reais.

As figuras 32 a 35 mostram as curvas que relacionam a carga com o deslocamento real dos provetes e comparam as curvas dos provetes que sofreram exposição a agentes agressivos com os de referência.

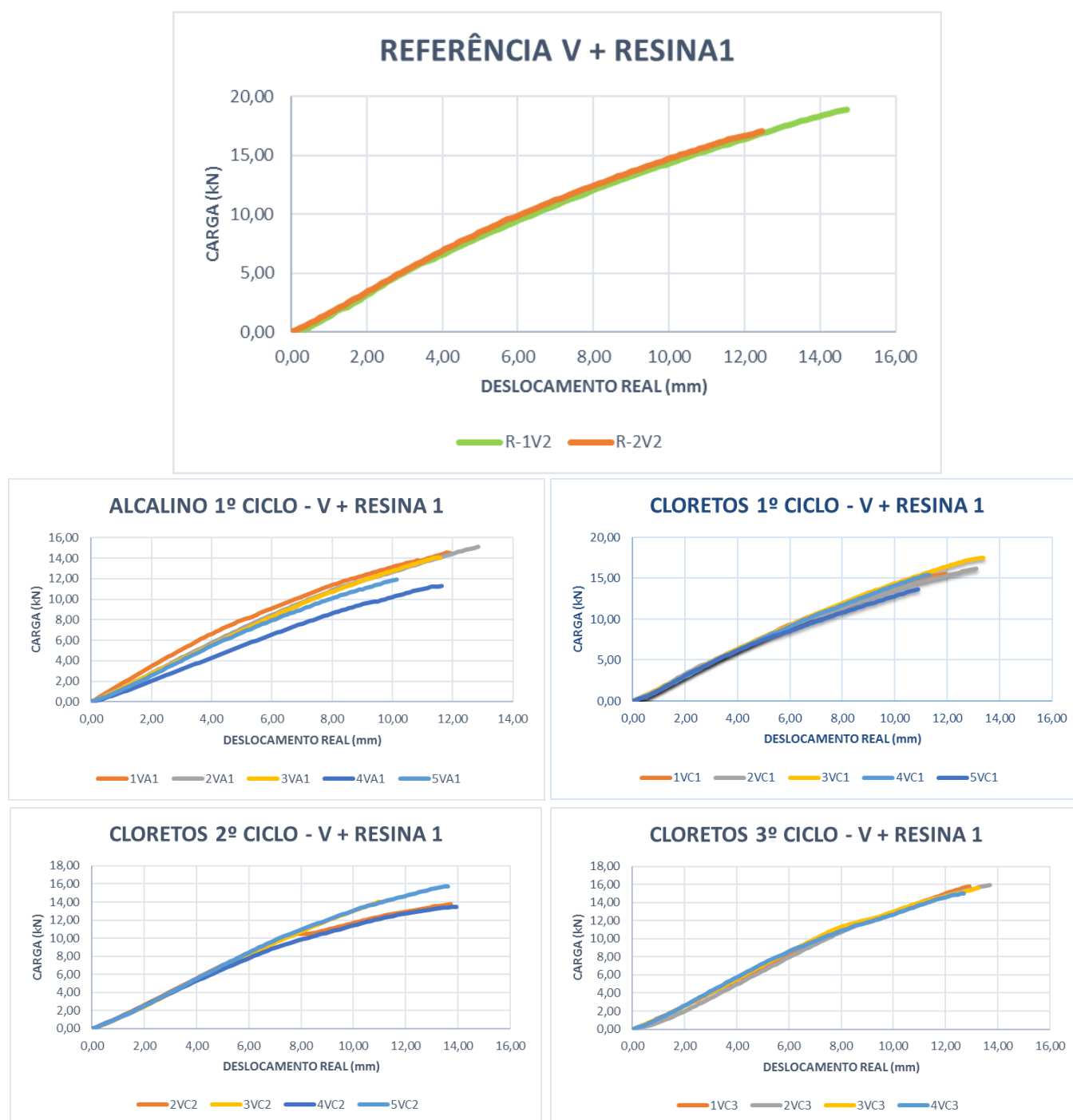


Figura 32 Curvas Carga x Deslocamento dos provetes constituídos por núcleo fibra de vidro e matriz resina tipo 1



Figura 33 Curvas Carga x Deslocamento dos provetes constituídos por núcleo fibra de vidro e matriz resina tipo 2



Figura 34 Curvas Carga x Deslocamento dos provetes constituídos por núcleo fibras de vidro+basalto e matriz resina tipo 1

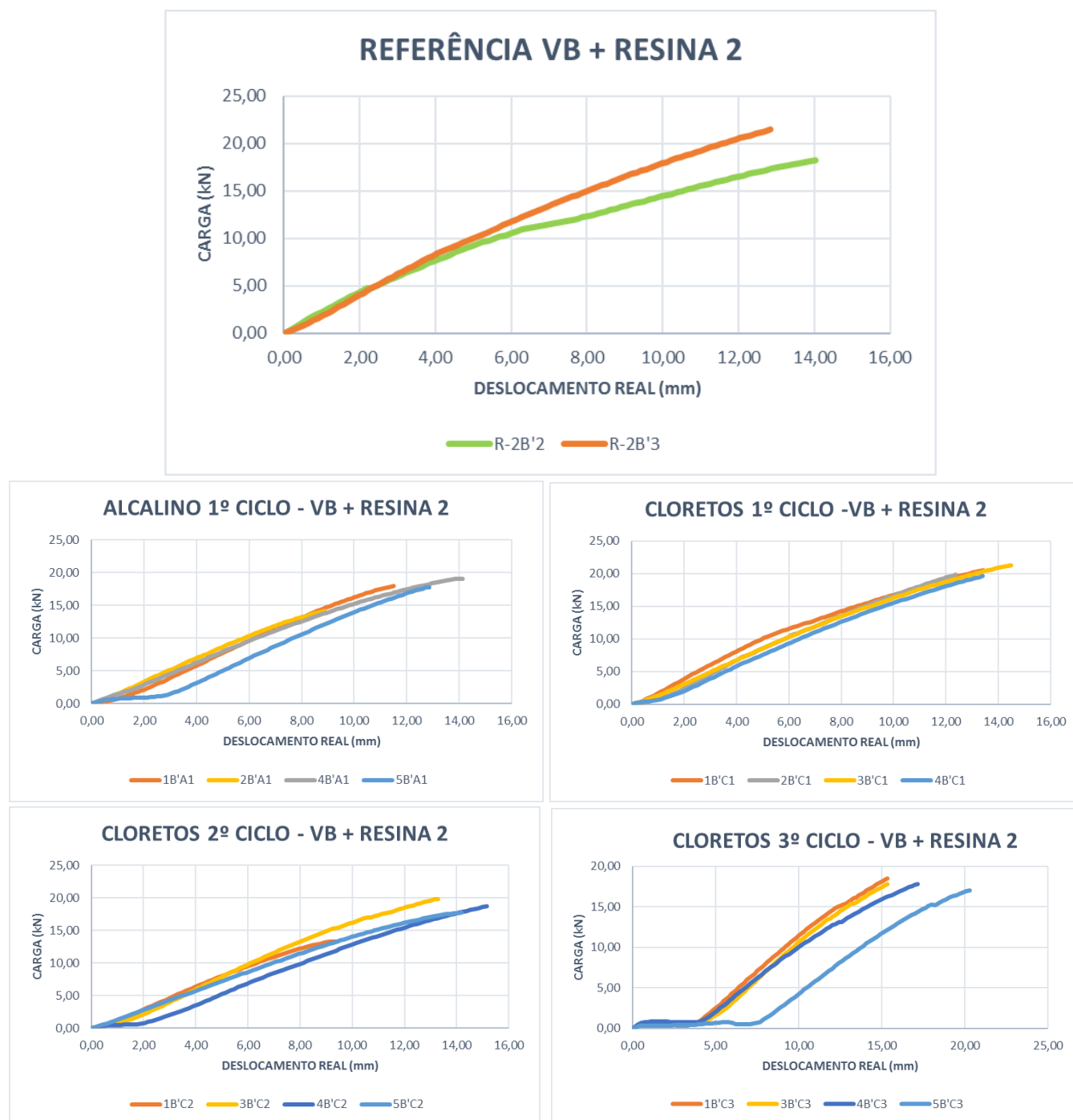


Figura 35 Curvas Carga x Deslocamento dos provetes constituídos por núcleo fibras de vidro+basalto e matriz tipo 2

As tabelas 12 e 13 apresentam os valores médios das tensões máximas e módulos de elasticidade encontrados para os provetes expostos a solução alcalina e cloretos, sendo que, como referido anteriormente, os que estiveram na solução alcalina foram expostos apenas ao 1º ciclo (30 dias) enquanto que os que estiveram em cloretos foram expostos aos 3 ciclos (30, 60 e 90 dias).

Tabela 12 Média dos valores de tensão máxima

Ciclo/Amostra	Tensão Máxima (MPa)											
	V			V'			VB			VB'		
	Ref V	VA	VC	Ref V'	V'A	V'C	Ref VB	VBA	VBC	Ref VB'	VB'A	VB'C
1º Ciclo	1182,68	987,64	1113,38	1112,49	949,99	1134,45	1179,59	940,80	986,54	942,72	910,20	880,08
2º Ciclo		-	1017,56		-	1045,27		-	1041,51		-	1033,42
3º Ciclo		-	1122,62		-	919,43		-	938,48		-	1045,59

Tabela 13 Média dos valores de módulo de elasticidade

Ciclo/Amostra	Módulo de Elasticidade [E] (GPa)											
	V			V'			VB			VB'		
	Ref V	VA	VC	Ref V'	V'A	V'C	Ref VB	VBA	VBC	Ref VB'	VB'A	VB'C
1º Ciclo	49,90	48,70	51,45	49,28	47,55	47,30	53,45	54,85	46,13	48,25	63,81	40,10
2º Ciclo		-	47,59		-	46,81		-	59,95		-	58,44
3º Ciclo		-	54,02		-	57,79		-	58,55		-	49,99

A partir dos resultados das tensões máximas é possível notar que VA e V'A apresentaram uma redução semelhante comparativamente com as respetivas referências, Ref V e Ref V', à volta dos 15% enquanto que VBA apresentou uma redução ligeiramente mais acentuada de 20%. Já VB'A apresenta uma redução bastante ligeira, de apenas 3%.

No caso dos varões expostos a cloretos, em geral todos sofreram reduções, com exceção dos VB'C, sendo os VBC os que sofreram reduções mais acentuadas.

Desta forma, é possível concluir que as reduções mais elevadas foram nos varões compostos por fibra de vidro com fibra de basalto com resina do tipo 1 como matriz, VB, principalmente para os expostos à solução alcalina, VBA, que, com apenas um ciclo de exposição, apresentaram logo uma redução de 20% relativamente à referência, visto que os expostos a cloretos também apresentaram esse valor de redução, mas quando expostos a três ciclos. É possível concluir também que a composição mais resistente, ou seja a que sofreu menos

reduções, é a dos varões constituídos por fibra de vidro com fibra de basalto, mas matriz resina tipo 2, VB'.

Relativamente aos resultados dos módulos de elasticidade é possível verificar que alguns casos não sofreram reduções, e nos restantes as reduções foram pouco acentuadas, à exceção dos 1º ciclos de VBC e VB'C que sofreram reduções de 14% e 16%, respetivamente.

De seguida apresentam-se, nas figuras 36 a 43, os gráficos com os valores apresentados anteriormente, nas tabelas 12 e 13, que ajudam a compreender melhor os resultados obtidos.

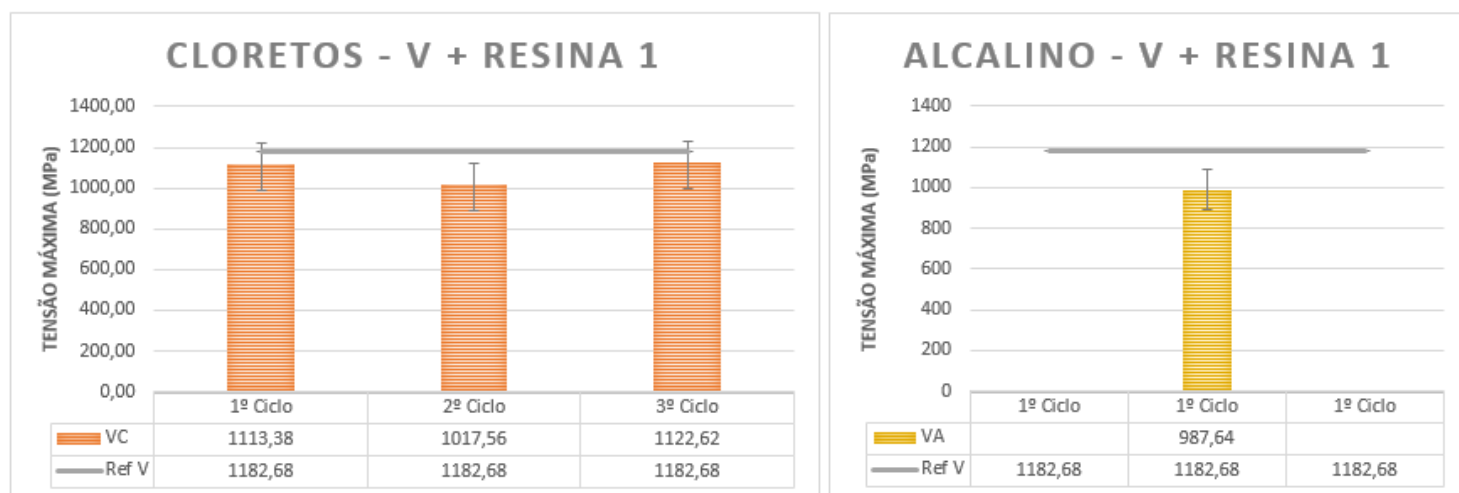


Figura 36 Variação da tensão máxima de rotura para as amostras com matriz resina 1 e núcleo fibra de vidro

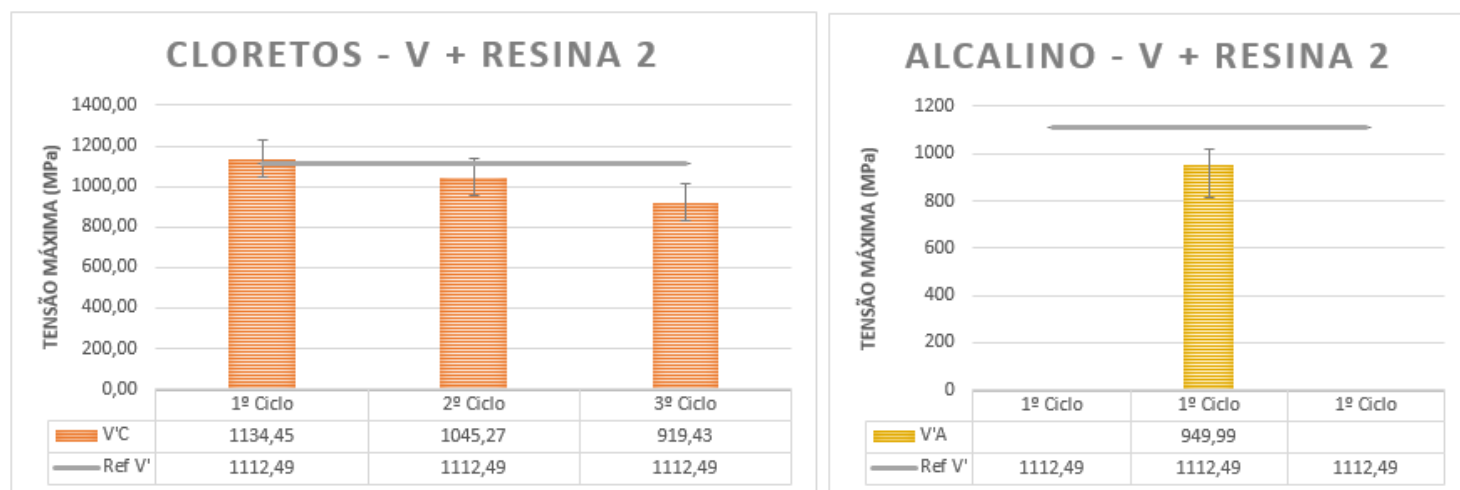


Figura 37 Variação da tensão máxima de rotura para as amostras com matriz resina 2 e núcleo fibra de vidro

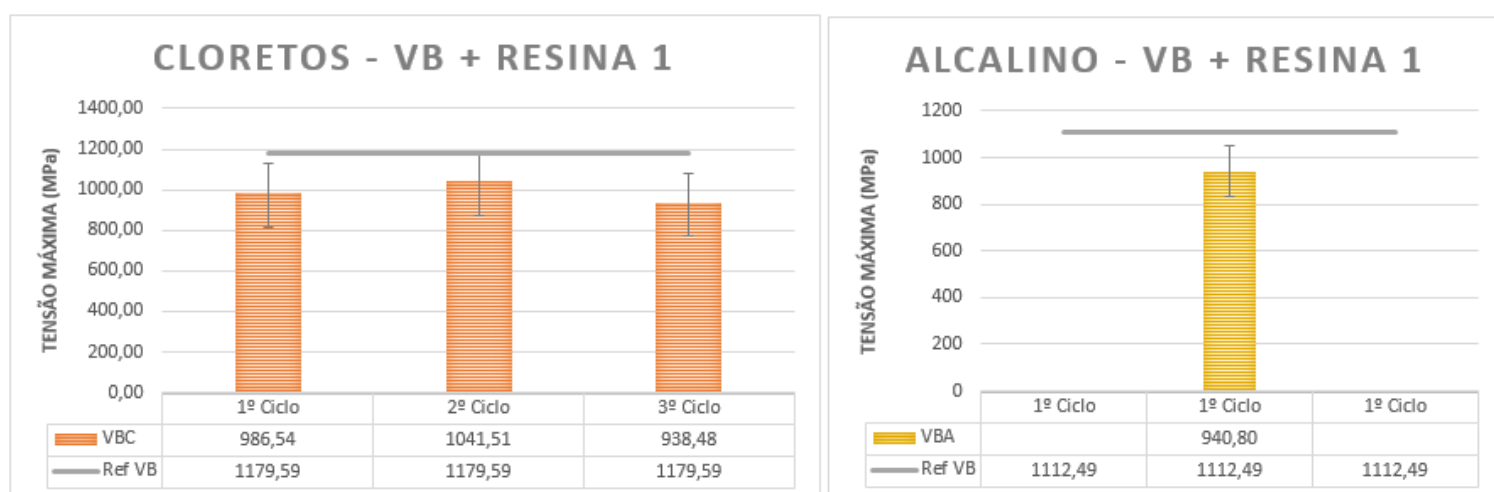


Figura 38 Variação da tensão máxima de rotura para as amostras com matriz resina 1 e núcleo fibras de vidro+basalto

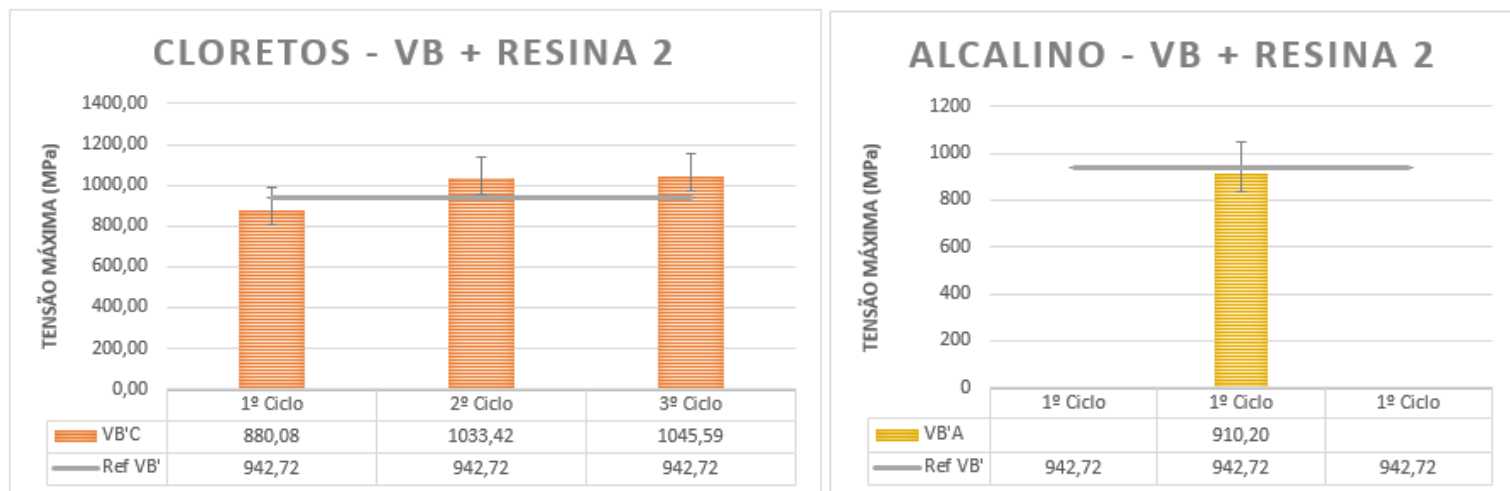


Figura 39 Variação da tensão máxima de rotura para as amostras com matriz resina 2 e núcleo fibras de vidro+basalto

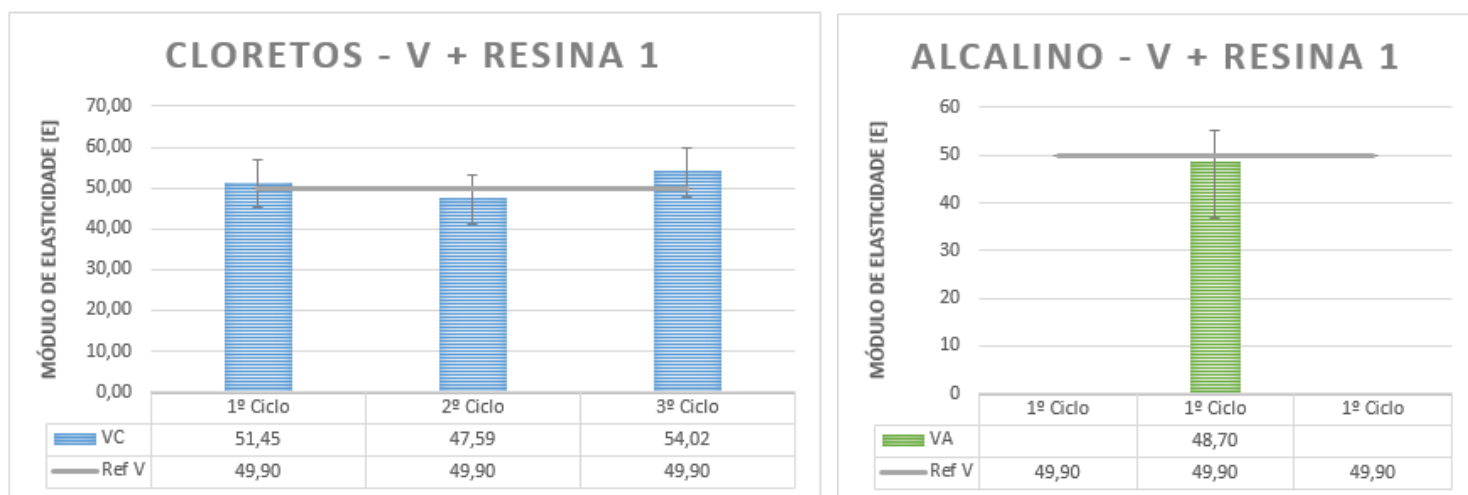


Figura 40 Variação do módulo de elasticidade para as amostras com matriz resina 1 e núcleo fibra de vidro

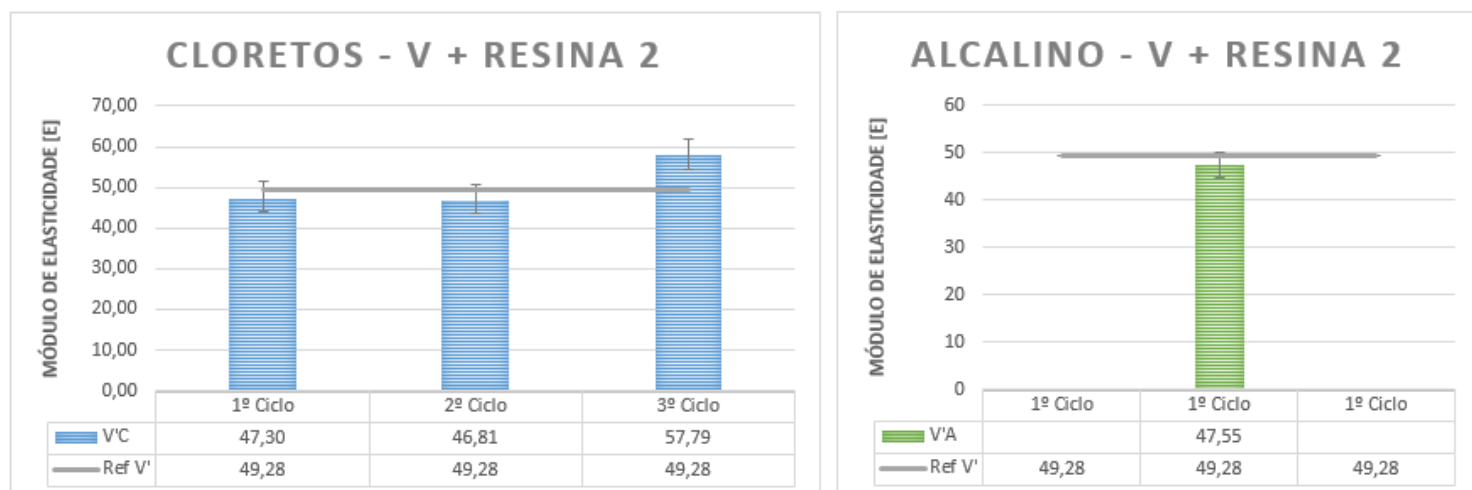


Figura 41 Variação do módulo de elasticidade para as amostras com matriz resina 2 e núcleo fibra de vidro

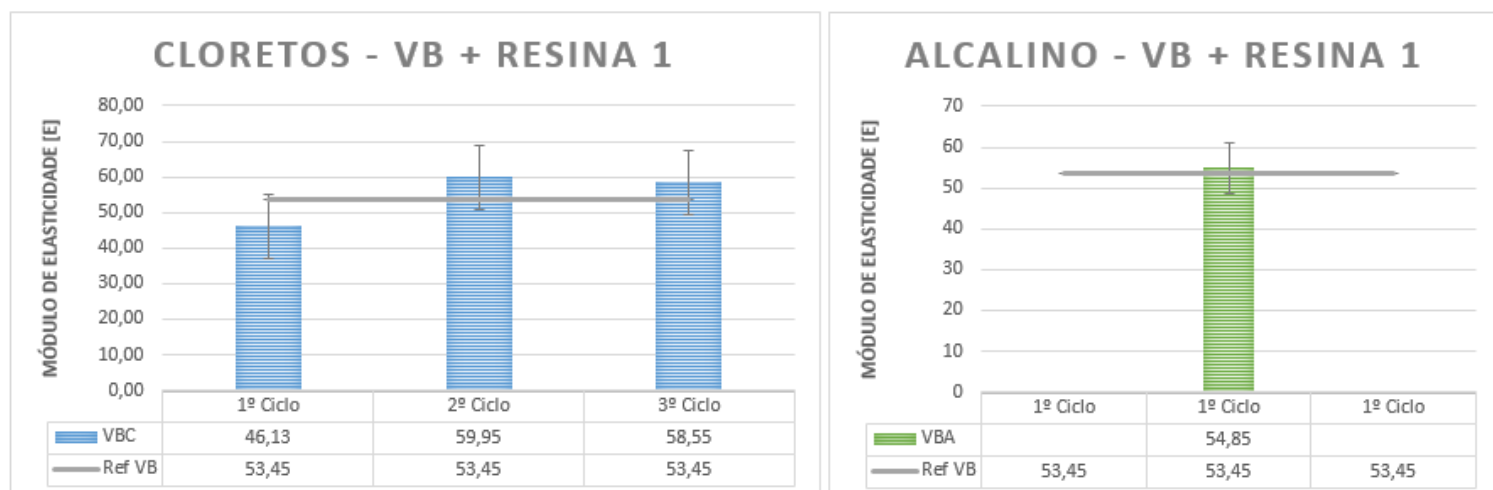


Figura 42 Variação do módulo de elasticidade para as amostras com matriz resina 1 e núcleo fibras de vidro+basalto

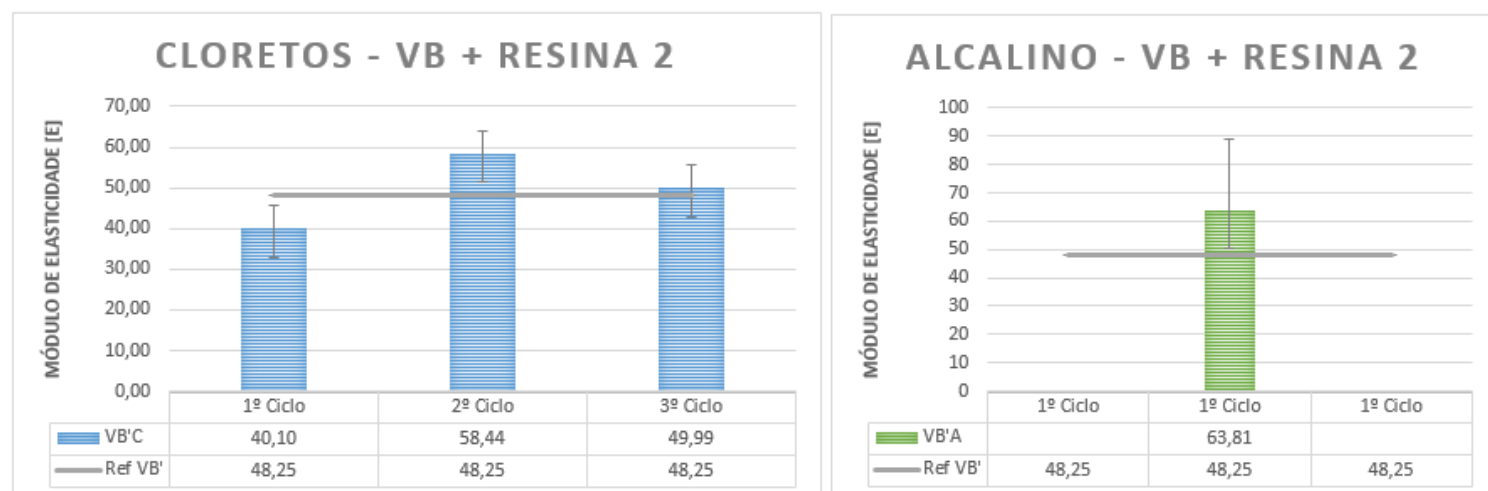


Figura 43 Variação do módulo de elasticidade para as amostras com matriz resina 2 e núcleo fibras de vidro+basalto

4.4. Ensaio de FTIR

Como já foi referido anteriormente, a análise é efetuada através da raspagem da camada externa com a matriz, desta forma apenas estas influenciam este ensaio, sendo indiferente o tipo de núcleo.

Através de uma análise genérica dos espectros obtidos é possível perceber quais as principais ligações em causa, estando estas expostas na tabela 14, de acordo com (Paiva 2006).

Tabela 14 Bandas de ligações mais frequentes nos espectros em estudo

Comprimento de onda (cm ⁻¹)	Ligação
3000-3600	Estiramento de O-H
2850-3000	Estiramento de C-H
1600-1815	Estiramento de C=O
1350-1480	Deformação de C-H

De seguida expõe-se os espectros obtidos para cada meio de exposição.

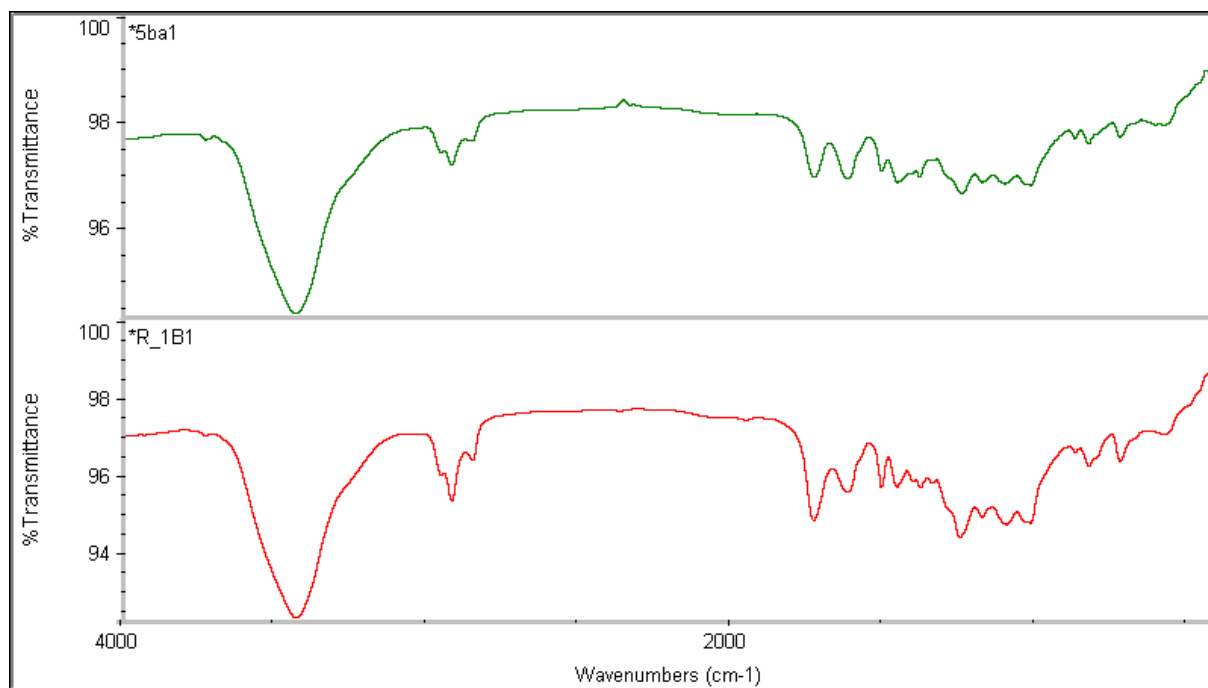


Figura 44 FTIR- De cima para baixo - Provete exposto a 30 dias em meio alcalino; provete de referência (Resina tipo 1)

Para os provetes sujeitos a alcalinidade constituídos com resina tipo 1 (figura 44) é possível verificar que para as zonas de estiramento de C-H e C=O há uma diminuição das ligações, enquanto que na zona de deformação de C-H existe um ligeiro aumento.

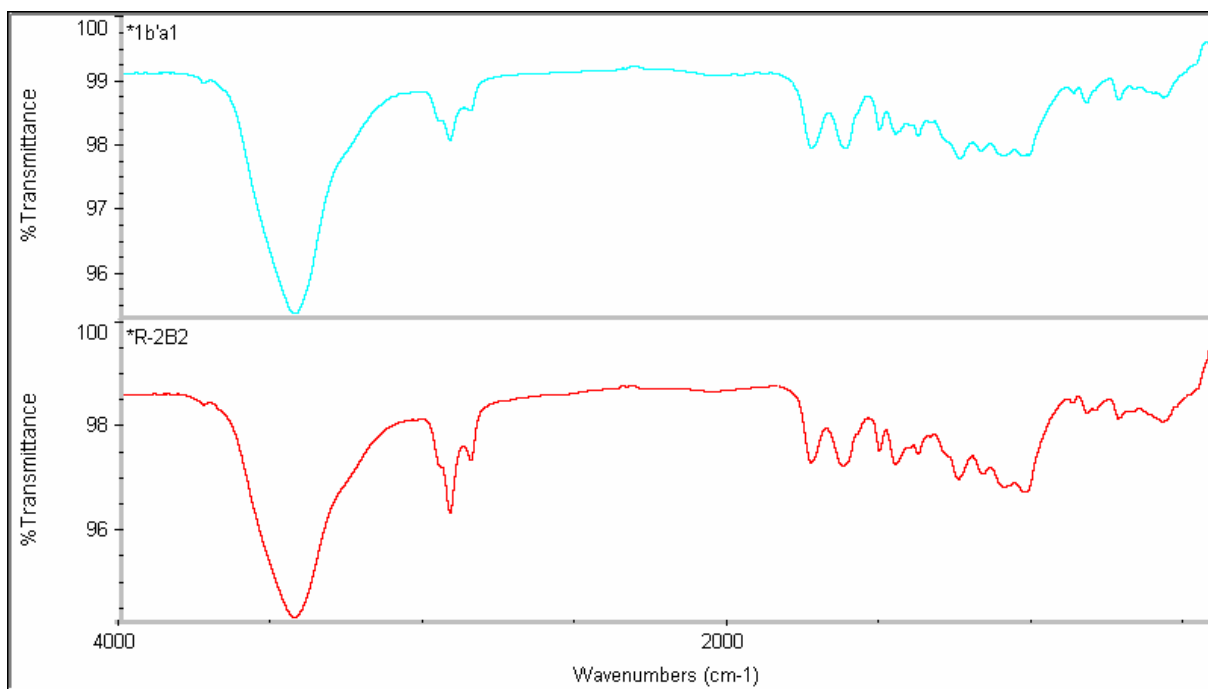


Figura 45 FTIR- De cima para baixo - Provete exposto a 30 dias em meio alcalino; provete de referência (Resina tipo 2)

Já para os provetes sujeitos a alcalinidade mas constituídos por resina tipo 2 (figura 45), é possível verificar que tanto para as zonas de estiramento de C-H e C=O como para a zona de deformação de C-H houve diminuição de ligações, apesar de ligeira no caso das ligações C=O.

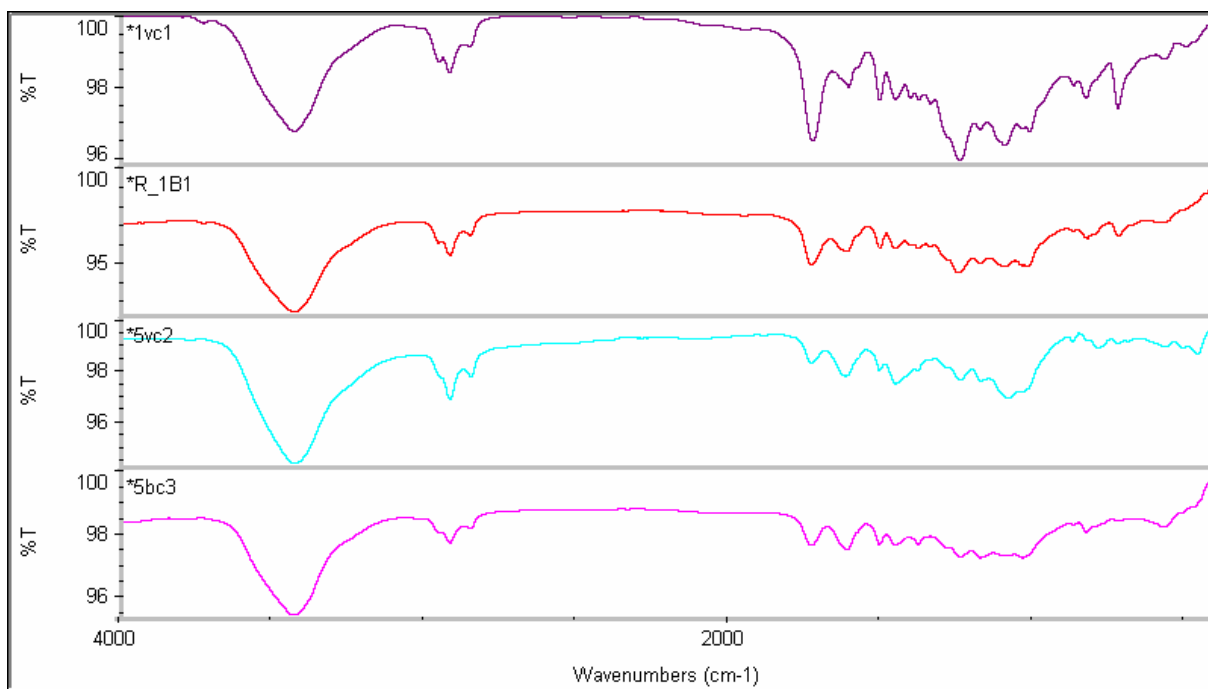


Figura 46 FTIR- De cima para baixo - Provete exposto 30 dias; provete de referência; provete exposto 60 dias; provete exposto 90 dias (Cloretos - Resina tipo 1)

No caso dos provetes expostos a cloretos constituídos por resina tipo 1 (figura 46), para começar, é possível verificar que existem alterações no intervalo relativo ao estiramento de O-H, para 30 dias há diminuição destas ligações, no entanto nos ciclos seguintes voltam ao valor inicial de referência.

Para a zona de estiramento de C-H é possível verificar que este tipo de ligações diminuem em comparação com a referência, seguindo um comportamento em que diminuem drasticamente no 1º ciclo, aumentam no 2º e para 90 dias voltam a diminuir ligeiramente.

No intervalo de comprimentos de onda relativo ao estiramento de C=O em comparação com a referência, no 1º ciclo as ligações aumentam e nos restantes diminuem, isto segue um comportamento de grande aumento, diminuição drástica e volta a aumentar.

Na zona de deformação de C-H, inicialmente, para 30 dias, não há quase alteração seguida de uma grande diminuição aos 60 dias e volta a aumentar no 3º ciclo, no entanto mantendo-se com menos ligações de que a referência.

É possível verificar que com o passar do tempo o espectro vai aproximando-se mais do de referência, estando desta forma o de 90 dias já bastante próximo deste.

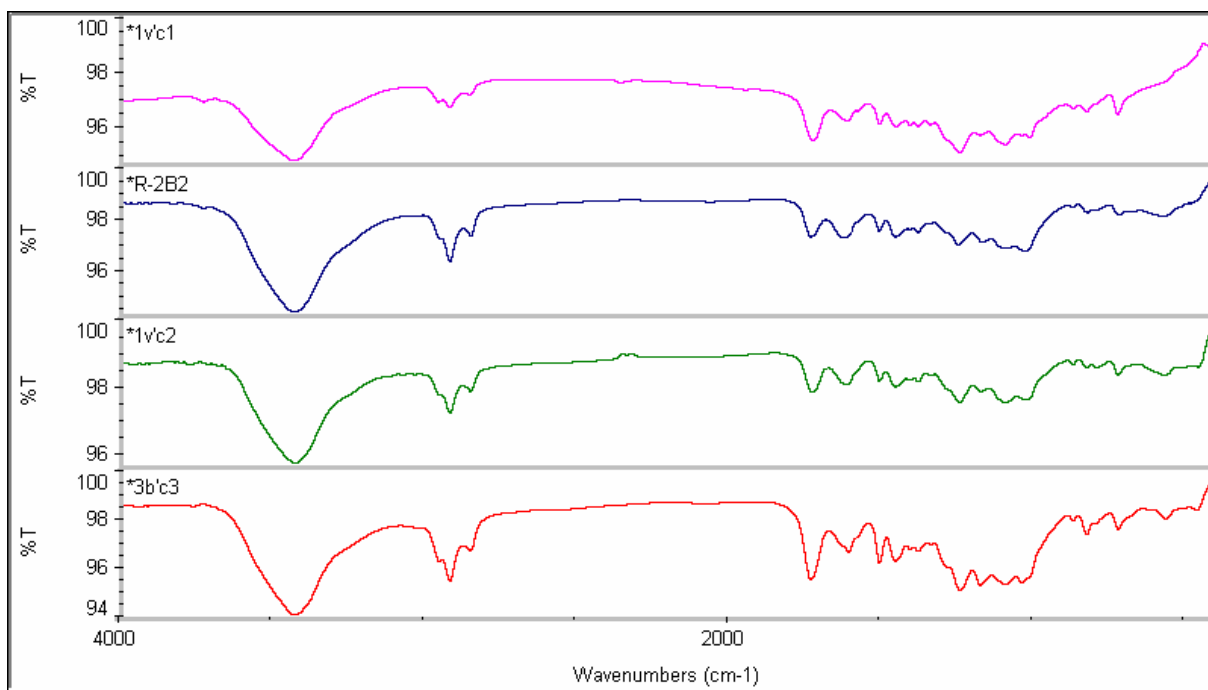


Figura 47 FTIR- De cima para baixo - Provette exposto 30 dias; provete de referência; provete exposto 60 dias; provete exposto 90 dias (Cloretos - Resina tipo 2)

Os provetes expostos a cloretos e com resina do tipo 2 na sua constituição (figura 47), para a zona de estiramento de C-H, apresentam inicialmente, nos 30 dias, uma diminuição de ligações, voltando, aos 60 dias, aproximadamente ao valor de referência, seguido por um aumento no ultimo ciclo.

No caso da zona de estiramento de C=O há um drástico aumento de ligações no 1º ciclo que diminui quase de volta para o valor de referência no 2º e volta a ter um grande aumento, mas inferior ao primeiro, no 3º ciclo, mantendo-se, no entanto, sempre com mais ligações de que a referência.

No intervalo relativo à deformação de C-H houve um comportamento semelhante a C=O, as ligações aumentaram também drásticamente no 1º ciclo seguidas de uma diminuição praticamente para o valor de referência, mas que neste caso foram, quase impercetivelmente, menores de que a referência, e no 3º ciclo voltou a aumentar bastante.

Neste caso, para a resina do tipo 2, o espectro de 30 dias afasta-se drásticamente da referência, nos 60 dias aproxima-se significativamente desta ficando quase igual, no entanto, ao contrário da resina do tipo 1, para os 90 dias volta a afastar-se.

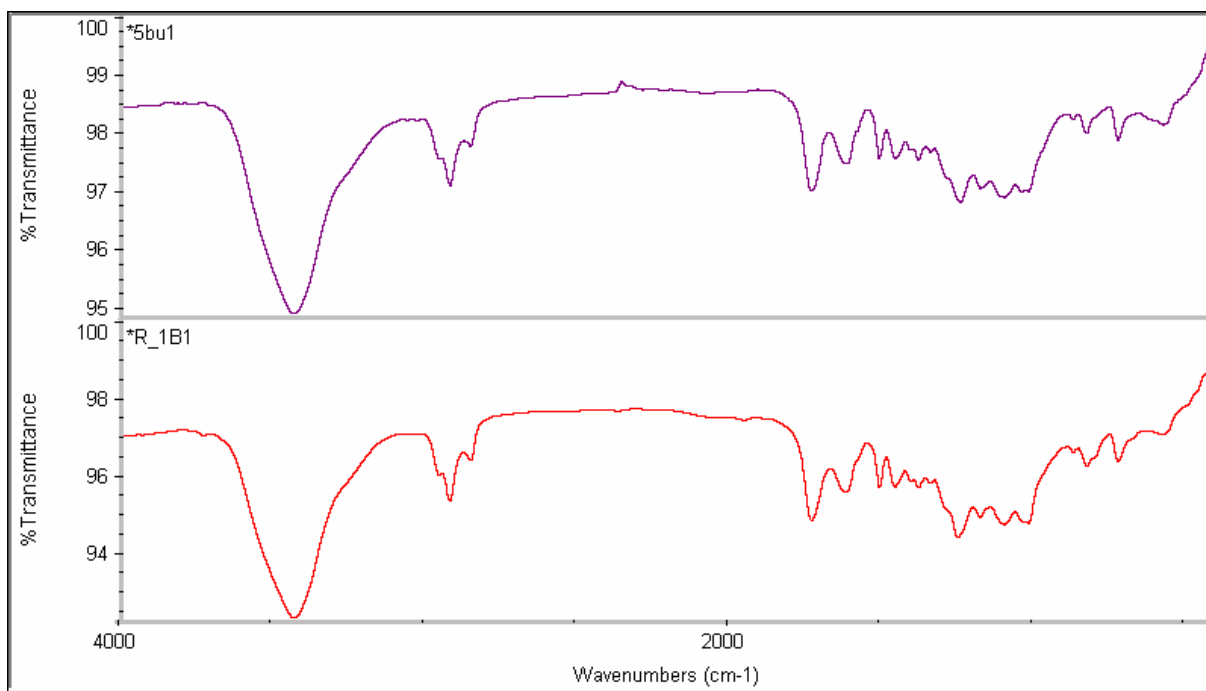


Figura 48 FTIR- De cima para baixo - Provete exposto 30 dias a UV/Humidade; provete de referência (Resina tipo 1)

Os provetes expostos a UV/humidade, com matriz resina tipo 1 (figura 48), apresentaram uma ligeira diminuição nas ligações para a zona de estiramento de C-H e mais acentuada para as zonas de estiramento de C=O e deformação de C-H.

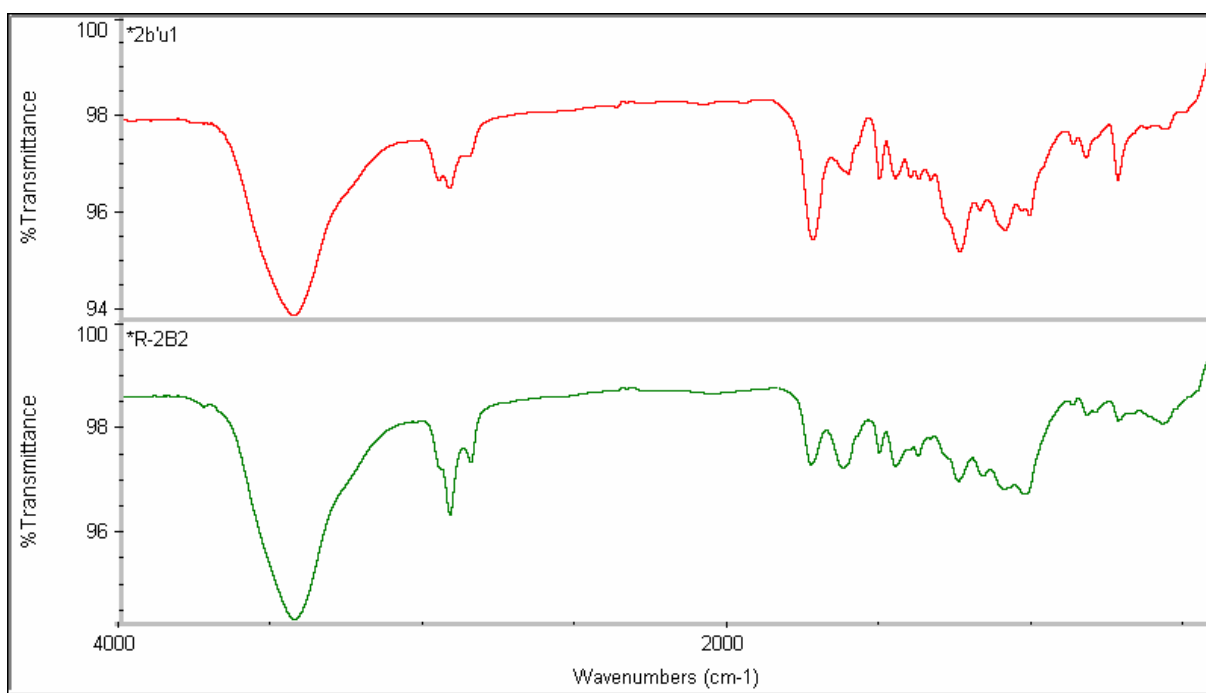


Figura 49 FTIR- De cima para baixo - Provete exposto 30 dias a UV/Humidade; provete de referência (Resina tipo 2)

Para os provetes expostos a UV/humidade mas matriz resina tipo 2 (figura 49), houve também uma ligeira diminuição de ligações para a zona de estiramento de C-H, no entanto, para as zonas de estiramento de C=O e deformação de C-H houve um aumento.

De forma geral é possível perceber que as exposições a que os provetes foram sujeitos não interferem com as ligações do tipo O-H, apenas com exceção para os expostos a cloretos e constituídos por resina do tipo 1 no 1º ciclo, que nos ciclos seguintes acabam por igualar a referência.

É possível também, através da observação dos espectros, verificar que para as exposições a UV/humidade e meio alcalino os provetes de matriz resina do tipo 1 obtiveram melhor comportamento, visto que os seus espectros aproximam-se mais aos de referência. Por outro

lado, no caso dos expostos a cloretos, é possível verificar uma maior proximidade dos espectros de exposição com o de referência no caso dos constituídos por resina do tipo 2.

4.5. Análise Comparativa

Após as análises individuais dos resultados, apresenta-se agora uma análise geral de forma a determinar qual a amostra que melhor se adequa a todos os casos.

No caso dos varões expostos a UV/humidade não foram realizados ensaios de tração e a análise microscópica não apresentou resultados conclusivos. Desta forma, tendo como base os resultados da variação de massa e do ensaio de FTIR é possível concluir que não há consenso, enquanto que para a variação de massa a amostra que apresentou melhor comportamento foi a V'(matriz resina tipo 2) e a que apresentou pior comportamento foi a VB (matriz resina tipo 1), no ensaio de FTIR as amostras com matriz resina tipo 1 obtiveram melhores resultados de que as amostras com matriz resina tipo 2.

Para os varões expostos a solução alcalina na análise microscópica não foi possível tirar grandes conclusões, já no ensaio à tração, tanto relativamente à tensão máxima como ao módulo de elasticidade, e na variação de massa os melhores resultados foram da amostra VB' o que, tal como no caso dos UV/humidade, contraria o FTIR que indica o mesmo do caso anterior. Sendo a maioria dos resultados crê-se que neste caso a melhor amostra seja a VB'.

Já para os varões expostos a cloretos os resultados, tal como no caso de UV/humidade, não convergem para uma mesma solução. No ensaio de tração para a tensão máxima não há dúvidas que a melhor opção é a amostra VB', mas já para o módulo de elasticidade é difícil determinar qual a melhor ou a pior amostra, sendo que a que mais diverge, para pior, da referência é a VB', e talvez a melhor amostra seja a VC. Relativamente a variação de massa a amostra que em geral sofreu uma menor variação foi a V. O ensaio de FTIR aponta como melhor opção as amostras com matriz tipo 2, V' e VB', já a análise microscópica aponta o contrário. Assim sendo, considerando que em termos de módulo de elasticidade os resultados não são muito conclusivos, e que a própria análise microscópica apresenta resultados muito semelhantes, conclui-se que talvez a melhor amostra neste caso é a VB'.

Após toda esta análise, tendo em conta que não há tantos dados de comparação no caso das amostras sujeitas a UV/humidade como para os restantes casos, a amostra que aparenta ser a mais adequada, em geral, para este tipo de exposições é a VB', amostra de núcleo fibras de vidro e basalto e matriz resina tipo 2.

CAPÍTULO 5 – Conclusão e Trabalhos Futuros

O presente trabalho foi realizado para estudar a durabilidade de varões em material compósito (BCR) de maneira a perceber a sua aplicabilidade na construção civil.

Através da realização deste, foi possível perceber que o processo de fabrico dos varões em estudo, assim como, o processo de preparação dos mesmos para a realização dos ensaios de tração, necessitam ainda de ser muito otimizados. Isto porque, a forma como se processam não é muito rigorosa e pode influenciar os resultados obtidos.

Foram produzidas quatro amostras diferentes, em que, o que variava nas suas constituições era o núcleo de reforço e a matriz, enquanto que a camada externa entrançada que envolve o núcleo se manteve constante, poliéster. Assim sendo, os núcleos foram 100% fibra de vidro e 75% fibra de vidro com 25% fibra de basalto, enquanto que as matrizes foram resina epóxida CR141 e resina epóxida CR144.

Os varões foram ensaiados de forma a determinar a degradação das suas propriedades químicas, físicas e mecânicas, após serem submetidos a agentes agressivos. Os ensaios realizados foram tração, FTIR, microscópio digital e variação de massa.

Os resultados obtidos indicaram que a amostra que, em geral, apresenta melhores resultados é a VB', ou seja, a amostra constituída por um núcleo de fibra de vidro com fibra de basalto e matriz resina tipo 2 (CR144).

Resumindo, o trabalho desenvolvido cumpriu os objetivos estabelecidos, no entanto, a análise estaria mais completa se tivesse sido possível realizar os restantes ciclos de exposição para os meios alcalino e UV/humidade.

Posto isto, um possível trabalho futuro seria proceder então à conclusão dos restantes ciclos e análise dos respetivos resultados, e ainda proceder à exposição a gelo-degelo e análise dos efeitos de tal neste tipo de material.

Uma outra hipótese de trabalho futuro seria proceder ao estudo dos efeitos das altas temperaturas e da resistência ao fogo neste tipo de materiais, visto que os polímeros

normalmente possuem temperaturas de transição vítrea não muito elevadas e apresentam rápida degradação a temperaturas elevadas.

Referências Bibliográficas

ACI440.3R, 2004. Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymers (FRPs) for Reinforcing or Strengthening Concrete Structures. *Test*, pp.1–40.

ASTM International, 1999. Standard for the Preparation of Substitute Ocean Water. *D 1141*, 98(Reapproved), pp.98–100.

ASTM International, 2015. Standard Practice for Freeze / Thaw Conditioning of Pultruded Fiber Reinforced Polymer (FRP) Composites Used in Structural Designs 1. , pp.5–7.

ASTM International, 2013. Standard Test Method for Alkali Resistance of Fiber Reinforced Polymer (FRP) Matrix Composite Bars used in Concrete Construction. , i, pp.1–5.

ASTM International, 2002. Standard Test Method for Tensile Properties of Pultruded Glass-Fiber-Reinforced Plastic Rod.

Bank, L.C., Campbell, T.I. & Dolan, C.W., 2003. Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars Reported by ACI Committee 440. *Concrete*, pp.1–42.

Barros, J., 2007. Materiais Compósitos no Reforço de Estruturas de Betão – PARTE I: Propriedades e Técnicas. *Construção Magazine*, ISSN 1645-(July), pp.26–35.

Chen, Y. et al., 2007. Accelerated aging tests for evaluations of durability performance of FRP reinforcing bars for concrete structures. *Composite Structures*, 78(1), pp.101–111.

Coates, J., 2000. Interpretation of Infrared Spectra, A Practical Approach. *Encyclopedia of Analytical Chemistry*, pp.10815–10837.

Cromwell, J.R., Harries, K.A. & Shahrooz, B.M., 2011. Environmental durability of externally bonded FRP materials intended for repair of concrete structures. *Construction and Building Materials*, 25(5), pp.2528–2539. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.096>.

- Fangueiro, R. & Rana, S., *Fibres : Future Materials for Advanced Emerging Applications*.
- Fangueiro, R., 2015a. Materiais compósitos poliméricos na construção civil. , pp.1–22.
- Fangueiro, R., 2015b. O papel dos materiais compósitos (FRP) na reabilitação de estruturas. , pp.1–22.
- Fergani, H. et al., 2015. Durability of Gfrp Bars in Concrete Beams.
- Gonilho Pereira, C. et al., 2008. Braided reinforced composite rods for the internal reinforcement of concrete. *Mechanics of Composite Materials*, 44(3), pp.221–230.
- Juvandes, L.F.P., Marques, A.T. & Figueiras, J.A., 1996. Materiais Compósitos No Reforço De Estruturas De Betão. *Materiais Estruturais - Reabilitação e Reforço de Estruturas*, FEUP, Porto
- Juvandes, L., 2002. Materiais Compósitos Reforçados com Fibras, FRP. , FEUP, Porto
- Kim, H.Y. et al., 2008. Short-term durability test for GFRP rods under various environmental conditions. *Composite Structures*, 83(1), pp.37–47.
- Marinucci, G., 2011. Materiais Compósitos Poliméricos. , p.333.
- Micelli, F. & Nanni, A., 2004. Durability of FRP rods for concrete structures. *Construction and Building Materials*, 18(7), pp.491–503.
- Paiva, M.D.C., 2006. Espectroscopia de Infravermelhos. , (Iv), pp.1–18.
- Pascini, R.L., 2010. Compósitos poliméricos. , p.4.
- Pereira, C.G. et al., 2005. Braided composite rods for civil construction. , 1988, pp.1–2.
- Possidonio, M.A. V, Cordeiro, G.C. & Vieira, J.D., 1987. Estudo da degradação por radiação ultravioleta de compósitos poliméricos reforçados com fibra de vidro. , pp.3–6.
- Quagliarini, E. et al., 2016. Basalt fiber ropes and rods: Durability tests for their use in building engineering. *Journal of Building Engineering*, 5, pp.142–150. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.job.2015.12.003>.

Rana, S. et al., 2014. Development of hybrid braided composite rods for reinforcement and health monitoring of structures. *The Scientific World Journal*, 2014.

Sena-Cruz, J., 2008. Técnica NSM-uma nova abordagem no reforço de estruturas com materiais compósitos. , pp.27–30.

Sérgio, P. et al., 2014. Desenvolvimento e Caracterização de Varões Compósitos Híbridos para Reforço de Betão. , pp.575–584.

Sousa, J., 2011. Durabilidade de perfis pultrudidos de viniéster reforçado com fibras de vidro (GFRP).

Ventura, A.M.F.M., 2009. Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas. *Ciência & Tecnologia dos Materiais*, 21, pp.10–19.

Anexos

Tooling & Composites

Biresin® CR141**Composite resin system for heat curing****Product Description**

Biresin® CR141 is a three component, anhydride cured, low viscosity epoxy resin system suitable for the production of high performance fibre reinforced composites.

Application Areas

Biresin® CR141 system is particularly suited to the filament winding and pultrusion processes due to its low viscosity, good fibre wetting capabilities and very long potlife.

Features / Advantages

- The reactivity of the system can be adjusted by modifying the level of the accelerator (C) CA141
- Fast infiltration of dry fibres due to good wetting characteristics, low mixed viscosity and an elevated processing temperature
- Good wet-out of fibres, fabrics and non-wovens due to low viscosity and good wetting characteristics
- Approved by Germanischer Lloyd - Certificate No. WP 1420022 HH (attached)

Physical Data		Resin (A)	Hardener (B)	Accelerator (C)
Individual Components		Biresin® CR141	Biresin® CH141	Biresin® CA141
Mixing Ratio, parts by	Weight	100	90	2
Mixing Ratio, parts by	Volume	100	87	2.4
Colour		translucent	transparent	amber
Viscosity, 25°C	mPa.s	~8,250	~40	~200
Density, 25°C	g/ml	1.16	1.20	0.98
			Mixture	
Potlife, 100 g / RT, approx. values	h	> 24		
Mixed viscosity, 25°C, approx. values	mPa.s	600		
Mechanical Data, neat resin specimen approx. values after 3 h / 80°C + 3 h / 120°C + 3 h / 140°C				
Biresin® CR141 resin (A)		with Biresin® CH141 hardener (B) and Biresin® CA141 accelerator (C)		
Tensile strength	ISO 527	MPa	78	
Tensile E-Modulus	ISO 527	MPa	3,200	
Elongation at break	ISO 527	%	3.3	
Flexural strength	ISO 178	MPa	145	
Flexural E-Modulus	ISO 178	MPa	3,100	
Compressive strength	ISO 604	MPa	122	
Density	ISO 1183	g/cm³	1.20	
Shore hardness	ISO 868	-	D 87	
Impact resistance	ISO 179	kJ/m²	18	
Typical Thermal Properties of Cured Neat Resin, after 3 h / 80°C + 3 h / 120°C + 3 h / 140°C				
Biresin® CR141 resin (A)		with Biresin® CH141 hardener (B) and Biresin® CA141 accelerator (C)		
Heat distortion temperature	ISO 75B	°C	137	
Glass transition temperature	ISO 11357	°C	139	

Biresin® CR141 1 / 2



BUILDING TRUST



Figura 50 Ficha técnica da resina 1

Biresin® CR144

Composite resin system for heat curing

Product Description

Biresin® CR144 is a three component, anhydride cured, low viscosity epoxy resin system suitable for the production of high performance fibre reinforced composites.

Application Areas

Biresin® CR144 system is particularly suited to the filament winding and pultrusion processes due to its low viscosity, good fibre wetting capabilities and very long potlife.

Features / Advantages

- The reactivity of the system can be adjusted by modifying the level of the accelerator (C) Biresin® CA144
- Fast infiltration of dry fibres due to good wetting characteristics, low mixed viscosity and an elevated processing temperature
- An excellent combination of high Tg (150°C) and elongation to break (>5%)
- Approved by Germanischer Lloyd f- Certificate No. WP 1520029 HH (attached)

Physical Data		Resin (A)	Hardener (B)	Accelerator (C)
Individual Components		Biresin® CR144	Biresin® CH141	Biresin® CA144
Mixing Ratio, parts by	Weight	100	90	1 - 4
Mixing Ratio, parts by	Volume	100	87	1.1 - 4.5
Colour		translucent	transparent	amber
Viscosity, 25°C	mPas	~10,500	~40	~2
Density, 25°C	g/ml	1.16	1.20	1.03
		Mixture		
Potlife, 100 g / RT, approx. values	h	> 24		
Mixed viscosity, 25°C, approx. values	mPa.s	800		

Typical Mechanical Properties of Cured Neat Resin, after 3 hr / 80°C + 3 hr / 120°C + 3 hr / 140°C

Biresin® CR144 resin (A)		with Biresin® CH141 hardener (B) and Biresin® CA144 accelerator (C)	
Tensile strength	ISO 527	MPa	90
Tensile E-Modulus	ISO 527	MPa	2.750
Elongation at break	ISO 527	%	5.4
Flexural strength	ISO 178	MPa	140
Flexural E-Modulus	ISO 178	MPa	3,000
Compressive strength	ISO 604	MPa	120
Density	ISO 1183	g/cm³	1.21
Shore hardness	ISO 868	-	D 87
Impact resistance	ISO 179	kJ/m²	20

Typical Thermal Properties of Cured Neat Resin, after 3 hr / 80°C + 3 hr / 120°C + 3 hr / 140°C

Biresin® CR144 resin (A)		with Biresin® CH141 hardener (B) and Biresin® CA144 accelerator (C)	
Heat distortion temperature	ISO 75B	°C	147
Glass transition temperature	ISO 11357	°C	151

Biresin® CR144 2 / 2



BUILDING TRUST



Figura 51 Ficha técnica da resina 2